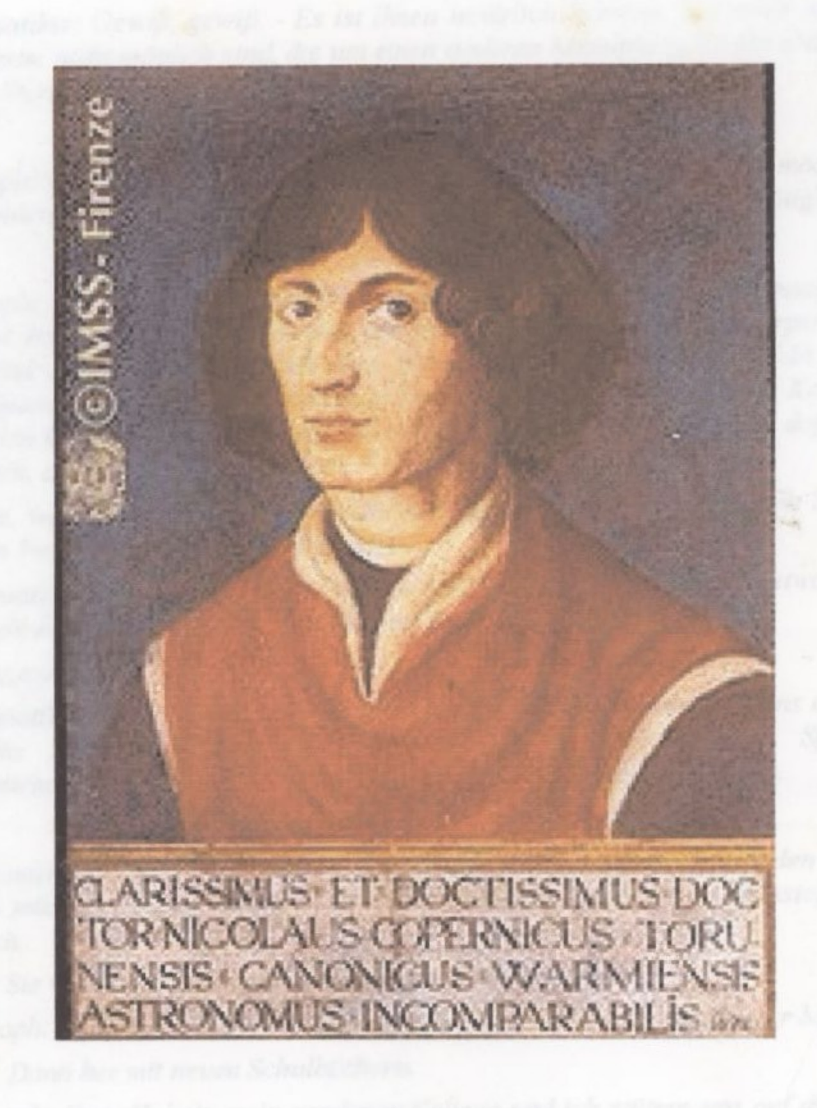
Die Kopernikanische Revolution



von

Bettina Melchers und

Felipe Farah Schwartzman

Physik-Kurs 1999

Klasse 13 Deutsche Schule Corcovado Rio de Janeiro

EAC

„Galilei: ... Ist es den Herren angenehm, mit einer Besichtigung der Jupitertrabanten zu beginnen, den Mediceischen Gestirne?

Der Philosoph: Ich fürchte, das alles ist nicht ganz so einfach. Herr Galilei, bevor wir Ihr berühmtes Rohr applizieren, möchten wir um das Vergnügen eines Disputs bitten. Thema: Können solchen Planeten existieren?

Der Mathematiker: Ein formalen Disputs

Galilei: Ich dachte mir, Sie schauen einfach durch das Fernrohr und überzeugen sich?

Der Mathematiker: Gewiß, gewiß. - Es ist Ihnen natürlich bekannt, daß nach der Ansicht der Alten Sterne nicht möglich sind, die um einen anderen Mittelpunkt als die Erde kreisen, noch solche Sterne, die im Himmel keine Stütze haben?

Galilei: Ja.

Der Philosoph: Und, ganz absehend von der Möglichkeit solcher Sterne, (...) möchte ich in aller Bescheidenheit als Philosoph die Frage aufwerfen: sind solche Sterne nötig?

(...)

Der Philosoph: Das Weltbild des göttlichen Aristoteles mit seinen mystisch musizierenden Sphären und kristallenen Gewölben und den Kreisläufer seiner Himmelskörper und dem Schiefenwinkel der Sonnenbahn und den Geheimnissen der Satellitentafeln und dem Sternenreichtum des Katalogs der südlichen Halbkugel und der erleuchteten Konstruktion des celestialen Globus ist ein Gebäude von solcher Ordnung und Schönheit, daß wir wohl zögern sollten, diese Harmonie zu stören.

Galilei: Wie, wenn Eure Hoheit die sowohl unmöglichen als auch unnötigen Sterne nun durch dieses Fernrohr wahrnehmen würden?

Der Mathematiker: Man könnte versucht sein zu antworten, daß Ihr Rohr, etwas zeigend, was nicht sein kann, ein nicht sehr verläßliches Rohr sein müßte, nicht?

Galilei: Was meinen Sie damit?

Der Mathematiker: Es wäre doch viel förderlicher, Herr Galilei, wenn Sie uns die Gründe nennten, die Sie zu der Annahme bewegen, daß in der höchsten Sphäre des unveränderlichen Himmels Gestirne freischwebend in Bewegung sein können.

(...)

Der Mathematiker: Früher oder später wird Herr Galilei sich doch mit den Tatsachen befreunden müssen. Seine Jupiterplaneten würden die Sphäreschale durchstoßen. Es ist ganz einfach.

Federzoni: Sie werden sich wundern: es gibt keine Sphäreschale

Der Philosoph: Jedes Schulbuch wird Ihnen sagen, daß es sie gibt, mein guter Mann.

Federzoni: Dann her mit neuen Schulbüchern.

Der Philosoph: Eure Hoheit, mein verehrter Kollege und ich stützen uns auf die Autorität keines Geringeren als der göttlichen Aristoteles.

(...)

Der Philosoph (groß): Wenn hier Aristoteles in den Kot gezogen werden soll, eine Autorität, welche nicht nur die gesamte Wissenschaft der Antike, sondern auch die Hohen Kirchenväterselber anerkannten, so scheint jedenfalls mir eine Fortsetzung der Diskussion überflüssig. Unsachliche Diskussion lehne ich ab. Basta.

(...)

Galilei: Aber die Herren brauchten wirklich nur durch das Instrument zu schauen!"

Bertold Brecht, Leben von Galilei, Szene 4

Gliederung

1.1 Vorwort

Auf dem Titelblatt der „Scientific American“ von Januar 1999 steht: „Revolution der Kosmologie: Was nun?" Durch moderne Methoden wurde gemessen, dass manche Sterne viel weiter von der Erde entfernt sind als sie sein sollten. Dies zeigt, dass die Expansion des Universums sich wahrscheinlich beschleunigt, anstatt konstant zu bleiben, wie man bis heute glaubte, dass es der Fall sei. Die Astronomen sind verwirrt. Manche wollen die Kosmologische Konstante wieder aufnehmen. Diese Konstante, die von Einstein idealisiert und kurz darauf von ihm als sein „größter Fehler“ gesehen wurde, war genau für die Beschleunigung des Universums zuständig. Doch gibt es unter den Wissenschaftlern keine Einheit, jeder denkt etwas anderes und viele neue Theorien werden aufgestellt.

Nicht viele Menschen unserer Zeit erfahren, was zur Zeit in der Wissenschaft passiert. Haben sie, lieber Leser, von diesen neuen Beobachtungen etwas gewusst? Viele wissen es nicht.

Für die meisten Menschen dieses Jahrhunderts steht fest: die Erde ist eines der neun Planeten unseres Sonnensystems, die alle um die Sonne kreisen. Manche von ihnen haben Satelliten, die um sie Kreisen, wie der Mond, der einzige Satellit der um die Erde kreist. Sterne sind Sonnen anderer Systeme, um die auch Planeten kreisen können.

Nicht immer haben die Menschen das geglaubt. Trotzdem gibt es eine Ähnlichkeit der Menschen der früheren Zeiten und der heutigen. Sie glaubten nicht, dass die Welt so war: Sie wussten es.

Deswegen fragt die „Scientific American“ was nun, deswegen fürchtet die Gesellschaft oft die Wissenschaftlichen Revolutionen. Die Sicherheiten, die eine ganze Gesellschaft hatte, werden in Frage gestellt, oft wird bewiesen, dass sie falsch waren. Doch die Gesellschaft ist nicht leicht zu überzeugen, und eine solche Veränderung der Mentalität der Menschen zu vollbringen kann Jahrtausende dauern.

Diese Idee der Veränderung aller wissenschaftlichen Sicherheiten eines Volkes, die Tatsache, dass auch unsere Sicherheiten falsch sein können und es wahrscheinlich auch sind (z.B. bei den Atomen), faszinierten uns. Die Wissenschaftlichen Revolutionen kommen zustande, wenn die Menschen seine Fehler sehen, wenn sie diese erklären können, ein neues System aufstellen und den Mut haben, ihre Arbeit der Gesellschaft zu präsentieren. Denn nicht immer akzeptiert die Gesellschaft es, wenn das System kritisiert wird und die Gefahr herrscht, dass dieses dadurch einstürzt.

Die Kopernikanische Revolution ist das beste Beispiel für wissenschaftliche Revolutionen, dass wir, die Autoren, kennen. Der bekannte Wissenschaftler Thomas S. Kuhn schrieb auch über diese Revolution und diente uns als wichtige Quelle. Manche der Ideen die in dieser Arbeit vorkommen sind aus seinem Werk entzogen.

Diese Arbeit soll die Fragilität der wissenschaftlichen Weltmodelle zeigen, aber auch ihre Kraft.

Die Fragilität zeigt sich dann, wenn neue Messinstrumente erscheinen. Durch die genaueren empirischen Daten, die dann entstehen, können Weltmodelle sehr oft in Frage gestellt werden.

Die Kraft der Modelle zeigt sich dann, wenn man ein neues einführen wird. Die Gesellschaft lässt dies nicht einfach zu, und die Wissenschaftler stoßen hier auf große Probleme und Hindernisse. Sie zu überwinden kostet oft sehr viel Zeit.

Bei der Kopernikanischen Revolution waren es hundert Jahre.

1.2 Was war die Kopernikanische Revolution

„Faust: Daß ich erkenne, was die Welt
Im Innersten zusammenhält"
- Goethe, Faust I

Die Kopernikanische Revolution geschah zwischen der Veröffentlichung von Kopernikus „De Revolutionibus Orbium Caelestium ", im Jahre 1543, und Newtons „Mathematical Principles of Natural Philosophy", um 1700. Es war eine komplette Veränderung der Weltanschauung, von dem Universum bis zum Verständnis der Bewegungen auf der Erde. Die Erde wird von dem Mittelpunkt eines endlichen Universums in einen kleinen Körper in ein unendliches und deshalb zentrumloses Universum verwandelt.

Kopernikus war ein Mathematiker, der sich auch mit den Sternen befasste. Für ihn musste das Weltsystem ideal sein, weil es von Gott geschaffen ist, und ideal bedeutete für ihn mathematisch so einfach wie möglich. Er war höchst unzufrieden mit dem ptolomäischen Weltsystem, weil es mit dem Laufe der Zeit von den Wissenschaftlern so verändert wurde, dass es mit den Beobachtungen gewissermaßen übereinstimmte. Dadurch wurde das System kompliziert und unkoherent. Kopernikus kam nach langem Überlegen zum Schluss, dass die Welt nur logisch wäre, wenn sie heliozentrisch wäre. Er bewies dies mathematisch in seinem oben genannten Werk. Und startete damit die Revolution, die erst im achtzehnten Jahrhundert vollendet sein würde.

Doch Kopernikus war auch ein Sohn der mittelalterlichen Scholastik, wie die meisten seiner Zeit. Die Scholastik war ein von der Kirche unterstütztes Streben, Theologie und die Wissenschaft der Alten Griechen zu verbinden. Für die ökonomische Entwicklung der Europäischen Gesellschaft war diese Wissenschaft unentbehrlich: sollte die Kirche diese nicht unterstützen, so würde ihr Einfluss auf die Menschen zerstört werden. Die Scholastik war nur begrenzt wissenschaftlich, da sie neue Entwicklung kaum förderte, sondern grundsätzlich eine Assimilation der alten griechischen Tradition vorhatte.

Zu dieser Zeit der Entdeckung von alten griechischen Originalen waren die Menschen immer mehr von der klassischen Welt fasziniert. Dies spiegelte sich auch in der Kunst und in der Phylosophie. Das Zeitalter heißt Renaissance, weil es als die Wiedergeburt der Entwicklung nach den dunklen Zeiten des Mittelalters gesehen wurde. Die Phylosophie hieß Humanismus und der Mensch wurde von *Viator Mundi* zu *Faber Mundi*, das heißt, der Mensch geht nicht wandernd durch die Welt, sondern kann sie verstehen und verändern. Der Mittelpunkt des Lebens sind nun die Menschen und ihr Leben auf der Erde und Gott verliert an Wichtigkeit. Die Staaten gewinnen an Macht und die steigende Bourgeoisie fängt an, große Schiffsreisen finanziell zu unterstützen.

Bei so vielen Revolutionen ist es unentbehrlich, dass auch der lange Zeit unpräzise Kalender korrigiert und erneut werde. Diese Aufgabe wurde von dem Papst an Kopernikus gestellt. Dadurch fing er an, sich mit dem Problem der Sterne und Planeten zu befassen, und schuf nur durch die Entwicklung eines Heliozentrischen Weltmodells eine Lösung.

Das von Kopernikus vorgeschlagene System wurde im Laufe der Zeit von Wissenschaftlern, wie Galilei und Kepler, zu dem noch heute weit verbreitetem und angewendetem Newtonianischem System entwickelt, das nicht nur die Astronomie, sondern alle Bereiche der Physik umfasst.

1.3 Die Wissenschaftliche Revolution nach Thomas Kuhn

„Galilei (zu den Schach spielenden Sekretären): Wie könnt ihr immer das alte Schach spielen? Eng, eng. Jetzt spielt man doch so, daß die größeren Figuren über alle Felder gehen. Der Turm so - (er zeigt es) - und der Läufer so - und die Dame so und so. Da hat man Raum und kann Pläne machen."

- Bertold Brecht, Leben von Galilei, Szene 7

Dieses Physikprojekt ist basiert auf die Forschungen und auf die Arbeit von Thomas S. Kuhn. Viele hier verwendete Fachbegriffe stammen aus seinen Werken, so wie die angenommene Anschauung dieser Revolution. Deshalb halten die Autoren es für wichtig, ein Kapitel des Werkers diesem Mann und seinem Werk zu widmen.

1962 wurde das Werk „The Structure of Scientific Revolutions", von Thomas S. Kuhn, erstmals veröffentlicht. Er stellte eine neue Theorie über die wissenschaftlichen Wechsel durch die Geschichte dar, die große Polemik in der Gesellschaft verursachte. Obwohl viele Wissenschaftler und Gelehrte von seinen Ideen begeistert waren, hatten die Theorien auch viele Gegner, die lautstark Kritik an Kuhn übten. Mit der Zeit jedoch stabilisierten sich diese Ideen, wurden in das wissenschaftliche Denken mit einbezogen und manche von Kuhn erfundene Fachbegriffe sogar auf andere Wissensbereiche übertragen, obwohl seine Theorie selbst heute von vielen Akademikern kritisiert wird.

In unserer Arbeit verwenden wir viele von diesen Konzepten und haben ein wichtiges Buch Kuhns - „The Kopernican Revolution" - als Grundlage dafür gewählt. Deshalb ist dieses Kapitel dazu gewidmet, seine wichtigsten Theorien zu erläutern und zu erklären.

Man kann Kuhn erst verstehen, wenn man die Paradigmentheorie versteht, die er konstant anwendet. Wir bezeichnen Theorien, Beobachtungen und Experimente, die durchgehend als Wahrheit gelten und als Basis für neue Theorien und Forschungen verwendet werden, als Paradigmen. Heute befinden sich unsere Paradigmen in Schul- und Sachbüchern; früher waren die jeweils derzeitigen Paradigmen in Werken der wichtigen Wissenschaftler der Zeit - oft die Aufsteller dieser Paradigmen - zu finden, wie das „Almagestii", von Ptolomäus, oder das „Principia", von Newton. Während seines Lehrprozesses mußte und muß noch heute jeder Wissenschaftler Kontakt zu den Paradigmen seiner Zeit aufstellen, muß sie begreifen und mit ihnen entsprechend argumentieren, forschen und Beweise aufstellen. So kann seine Arbeit von der wissenschaftlichen Gesellschaft verstanden und aufgenommen werden.

Für Kuhn gab sich die Entwicklung der Wissenschaft durch einen ständigen Wechsel zwischen der normalen Wissenschaft und den wissenschaftlichen Revolution. Während den Zeiten der normalen Wissenschaft gibt es eine akzeptierte und stabilisierte Theorie und Weltanschauung, und die Wissenschaftler sind damit beschäftigt, kleine Probleme innerhalb der Theorie zu lösen. So haben sie eine Funktion der „Lückenfüller" oder „Puzzellöser". Sie müssen auch kleine Widersprüche zwischen Theorie und Beobachtung lösen, die sich zum Beispiel durch technischen Fortschritt und daraus folgenden genaueren Messungen ergeben.

Wenn eine Theorie oder Weltanschauung zu viele Fehler oder Ungenauigkeiten aufzeigt, die schwerlich oder nicht mehr in ihrem Rahmen gelöst werden können, fangen manche Wissenschaftler an, neue Theorien aufzustellen. Diese konkurrieren miteinander. Diese Zeit der wissenschaftlichen Unsicherheit wird Zeit der wissenschaftlichen Revolutionen genannt: hier werden neue Paradigmen aufgestellt, bis eines akzeptiert und weitgehend aufgenommen wird: dann kehrt die Zeit der wissenschaftlichen Normalität wieder ein.

Der Paradigmenwechsel - und somit die Wissenschaftlichen Revolutionen - geschieht normalerweise sehr langsam. Es ist für einen einzelnen Menschen normalerweise sehr schwer, mit den gelernten Paradigmen zu brechen, da sie ja einen Wahrheitsstandard haben. Deshalb ist eine neue Generation oft nötig, die die Paradigmen nicht ihr Leben lang als Grundlage für die Wissenschaft nahm und sie schon im Zerbrechen lernte, so daß die Aufstellung oder Akzeptierung einer neuen Theorie weitaus einfacher vorgehen kann. Außerdem ist es während den Revolutionen sehr schwierig, sich für eine Theorie zu entscheiden; die geschieht grundsätzlich durch subjektive Kriterien. Das alte Paradigma kann immer an neue Beobachtung angepaßt werden, durch Mittel, die die Theorie erlaubt. Ein neues Paradigma kann jedoch - wenn es gut ist - Phänomene vorhersehen, die erst später beobachtet werden und an die das alte Paradigma sich eben anpassen muß. Ein Beispiel aus der Biologie dafür wäre der Streit zwischen den Kreationisten und Evolutionisten: die erste Gruppe glaubte daran, daß alle Tiere geschaffen worden waren und sich nicht veränderten; die zweite, daß alle Tiere einen gemeinsamen Ursprung haben. Die Evolutionisten sagten vorher, daß es Zwischenformen geben müßte, zwischen den verschiedenen Tiergruppen und -reichen. Jahre nach dieser Aussage wurden das Schnabeltier - ein Tier, das als Mischung zwischen Reptil und Säugetier ist - und der Archäopterix - Fossil zwischen Vogel und Reptil - gefunden. So wurde das neue Paradigma - der Evolutionisten - weit verbreitet und akzeptiert. Trotzdem argumentieren noch heute, besonders in den U.S.A., Menschen, deren Paradigma die Bibel ist, gegen diese Theorie. Sie erkennen die Zwischenformen nicht als solches und ordnen den Archäopterix zum Beispiel in die Gruppe der Vögel ein.

Kuhn meint auch, daß Paradigmen nicht verglichen werden können. Zwei Wissenschaftler, die an verschiedene Paradigmen glauben, verhalten sich zueinander, als ob sie verschiedene Sprachen sprechen würden: die Konzepte über was für ein Beweis hinreichend ist, was bestimmte Fachwörter bedeuten und was für Fragen von Bedeutung sind, sind sehr verschieden.

Ein Paradigmenwechsel gibt sich, wenn ein existierendes Paradigma keine hinreichende Antworten mehr für die Gesellschaft liefert. Die Gesellschaft und die Wirtschaft(um neue Techniken entwickeln zu können, die die Konkurrenz stimulieren) brauchen ein neues Modell, und so wird ein neues Paradigma aufgestellt, das passender ist. Doch werden Modelle nicht als solches betrachtet, sondern als Wahrheiten: so wie ein Wissenschaftler, der sein Leben lang einem Paradigma entsprechend gearbeitet hat, schwerlich auf ein neueres wechseln würde, so ist es auch für die Anhänger der neuen Modells, auf alte zurückzukehren: es ist vergleichbar einer - von Freud so genannten und Kuhn übertragenen – „Gestaltveränderung", die nicht wieder rückkehrbar ist.

Obwohl Kuhn eine relativierte Wissenschaftsvorstellung hat, glaubt er an den wissenschaftlichen Fortschritt. Er glaubt nicht, dass die Menschheit nach jeder

wissenschaftlichen Revolution näher an die Wahrheit gelangt, sondern dass die neuen Paradigmen mehr und komplexeren Fragen eine Antwort liefern können, so wie auch mehr Beobachtungen voraussagen können. Er vergleicht die wisssenschaftliche mit der biologischen Evolution, in der die Wesen immer komplexer und angepaßter werden, aber deswegen trotzdem der Perfektion nicht näher kommen: jede Art ist für ihre Umwelt gut und hinreichend angepaßt, nie aber besser als die vorherigen, da sie nicht vergleichbar sind.

2.1 Astronomie der Alten Völker

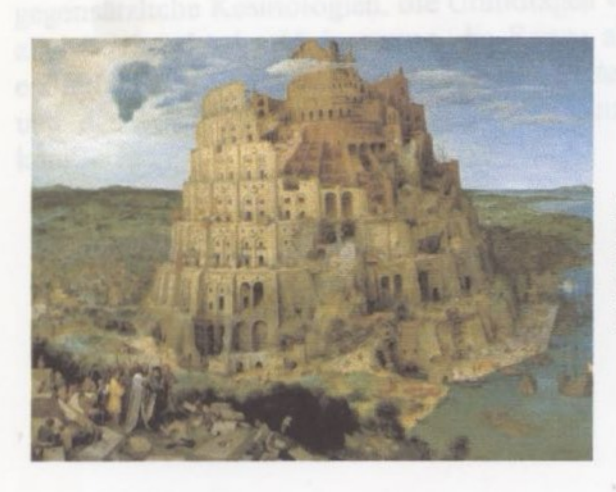


Abb. 1 Turm von Babel; wurde von den Babyloniern gebaut, damit sie den Götter näher stehen könnten und um den Himmel zu Beobachten. Die Konstruktion wurde nicht beendet.

Die Babylonier haben sich schon früh mit dem Sternenhimmel beschäftigt. Er war für sie lebenswichtig, da nur durch seine Beobachtung die Jahreszeiten vorhersehbar sind. Sie konnten so vorhersagen, wann die günstigste Zeit zum Pflanzen und zum Pflücken kommen würde. Wenn die Sterne die natürlichen Ereignisse vorhersagen konnten, so müssten sie auch das menschliche Schicksal kundgeben. Deshalb hat sich die babylonische Astronomie sehr entwickelt. Man sah im Himmel eine Art Tafel, auf der die Götter den Menschen Botschaften schrieben. Sie haben den Himmel beobachtet bis ihre Kenntnisse groß genug waren, um Sonnen- und Mondfinsternisse vorherzusagen, was sehr wichtig war, da diese angeblich Unglück brachten. Obwohl sie sehr gute Beobachter waren, haben die Babylonier sich nicht mit tieferen Fragen über den Sternenhimmel beschäftigt, wie zum Beispiel warum die Sterne sich so bewegen wie sie sich bewegen, oder wie die Welt strukturiert ist.

Die Ägypter, die auch Kontakt zu den Babyloniern hatten, besaßen eine ähnliche Weltanschauung. Doch war ihre Astronomie und Astrologie nicht so weit entwickelt. Sie konnten, zum Beispiel, keine Sonnen- und Mondfinsternisse vorhersagen. Auch die anderen Völker am Mittelmeer waren in ihrer Weltanschauung nicht besonders differenziert.

Zu einer Weltanschauung gehört jedoch nicht nur der Himmel, sondern auch die irdische Welt. Die Völker am Mittelmeer waren auch hier weitgehend übereinstimmend. Die Welt sei eine Platte auf der die himmlische Halbkugel liegt. Auf der Platte liegt ein Stück Erde, das von dem Fluß „Ozeanus" umkreist wird. Im Zentrum der Erdplatte liegt das Mittelmeer, ein Gewässer das im Westen mit dem großen Fluß Kontakt hat. Einige Kulturen glaubten, daß jeden Morgen eine neue Sonne im Osten entstand, die am Abend wieder im Westen starb. Andere glaubten, daß man jeden Tag dieselbe Sonne sah, die am Abend und in der Nacht versteckt zu dem Ort des Aufgangs wandert. Doch alle glaubten, die Sonne sei kaum größer als ein Haus, und wandelt nur um die Erdplatte. Für die Griechen, zum Beispiel, wurde Helios (oder Apollo), der Sonnengott am Tag, wie seine Schwester Selene (oder Diana), die Mondgöttin, in der Nacht von seinen Kutschen geleitet.

Um 600 vor Christus haben manche griechische Philosophen angefangen, diese Weltanschauung zu zerstören. Das passierte durch die Trennung von Religion und

Philosophie; die Wissenschaft gehörte damals zu der zweiten. Dadurch wurden zahlreiche Konzepte neu geschaffen. Es gab plötzlich viele konkurrierende und gegensätzliche Kosmologien, die Grundlagen wie die Erde als Zylinder, als Sphäre, als Mittelpunkt des Universums, die Sonne als Mittelpunkt des Universums, das endliche und das unendliche Universum, hatten. Am bedeutendsten sind die Ideen und das Werk Aristoteles gewesen, das einzige, das sich wirklich durchsetzen konnte.

2.2 Die Aristotelische Kosmologie



Abb. 1 Plato und Aristoteles

Das Aristotelische System war deshalb so wichtig, weil es das erste zusammenhängende Weltsystem war, von dem wir heute Kenntnis haben. Obwohl viele andere Kulturen Vorstellungen darüber hatten, wie die Welt funktionierte, hatten sie kein vollständiges und in sich zusammenhängendes Weltbild. In den meisten Fällen waren diese Vorstellungen animistisch, das heißt: auf die Frage, warum Steine auf dem Boden lägen und auf den Boden fallen würden, antwortete ein Ungelehrter zu Aristoteles Zeit höchstwahrscheinlich „Weil es ihm auf dem Boden gefällt." Man glaubte, daß Gegenstände, so wie Menschen und Tiere, einen Geist hätten. Nach Aristoteles hatten die Gegenstände zwar Eigenschaften, aber keine Seele oder Leben.

Aristoteles basierte seine Theorie auf manche Ideen, die schon vor ihm existierten, und fügte neue Konzepte hinzu. Unter anderem nahm er Theorien von Plato, seinem Lehrer, auf. Plato vergleicht das Universum mit einem Tier. Der Schöpfer der Welt hätte als wichtigstes Ziel, daß das Tier in seinem Aufbau und im Gesamten perfekt sei. Das heißt natürlich auch, daß das Tier weder krank noch alt werden könne. Da die Kugel als geometrisch perfekte Form gesehen wurde – weil sie unendlich viele Symmetrieachsen hat – musste die Welt auch rund sein. Das „Tier" brauchte keine Sinnesorgane, weil es in seiner Umwelt nichts gab, was bemerkt werden könnte: Es war einzig. Es brauchte auch keine Organe für den Ernährungszyklus, da nichts außer ihm existierte, das aufgenommen oder später ausgeschieden werden konnte. Dieses Tier – oder diese Welt - war so selbstständig und einzig. Die einzige Bewegung die dieses Tier vollbrachte war eine kreisförmige und dadurch natürliche Bewegung um seine eigene Achse – Das eigene Zentrum.

Diese Grundidee hat Aristoteles übernommen und erweitert. Er beschrieb sehr detailliert wie dieses System funktioniert. Der größte Teil dieser Welt ist von 55 homozentrischen Sphären belegt. Diese Sphären bestehen aus *Aether*, ein durchsichtiges, gewichtloses, unveränderliches, kristallförmiges Element. In manchen Sphären liegen auch Planeten, Körper, die eine andere Bewegung haben als die Sterne, welche ihrerseits auf der letzten Sphäre liegen. Alle Sphären haben unterschiedliche Drehachsen, obwohl sie denselben Mittelpunkt haben. Da diese Sphären mit den anderen jeweils benachbarten Kontakt haben, ist die Bewegung aller außer der letzten durch Reibung zu erklären: die letzte gibt ihre Bewegung so an die Vorletzte, diese auf die Drittletzte und so fort bis zu der inneren Sphäre – die

Mondsphäre – weiter. Die Verschiedene Drehachsen sind für die komplexere Bewegungen der Planeten, die wir im folgenden Kapitel beschreiben werden, verantwortlich. Unter der Mondsphäre ist die Erde, wo die Menschen leben. Dieser Teil des Universums ist, im Gegensatz zur supralunarischen Gegend, unvollkommen, da es nicht aus Aether sondern aus den genannten vier Elementen besteht.

Diese vier Elemente sind: Feuer, Luft, Wasser und Erde. Sie sind die Bausteine von allem, was auf der Erde existiert. Die Bewegung der innersten Sphäre ist verantwortlich für die Vermischung dieser vier Elemente und so für die Gestaltung der unendlich vielen Formen, die in dem Lebensraum der Menschen existieren. Doch wie konnte Aristoteles die Bewegung von Wasser und Erde in Richtung Boden und Feuer und Luft weg von dem Boden erklären? Er verlieh den Elementen deswegen die Eigenschaft, sich zu dem Weltzentrum oder weg von dem Weltzentrum zu bewegen. Je perfekter ein Element, desto ferner von dem Zentrum ist seine natürliche Lage. So war Feuer der Perfektion am nächsten, und Erde am entferntesten. Luft ging jedoch immer noch in die Höhe und Wasser in die Tiefe. Wie wir beobachten können sind die Elemente nicht immer an ihren natürlichen Plätzen, doch bewegen sich immer wenn möglich radial (geradlinig) von dem Zentrum weg oder zu dem Zentrum hin zu ihren natürlichen Orten, da die radiale Bewegung perfekt ist. Komplexere Bewegungen werden als Vermischung zwischen der Radialen und der Kreisförmigen Bewegungen interpretiert.

Andere Bewegungen könne auch durch das Prinzip des *Horror Vacui* erklärt werden. Das Prinzip besteht darin, daß überall Materie sein muß, auch wenn es Luft ist. Deswegen ist in den Sphären Aether. Wenn irgendwo keine Materie vorhanden ist, so ist dort auch kein Raum, und so existiert diese Stelle auch im Weltraum nicht. Dieses Prinzip entstand aus der aristotelischen Vorstellung, daß Materie und Raum dasselbe seien. Wenn man zum Beispiel eine Wasserflasche mit engen Hals hat und ihre Öffnung nach unten dreht, so wird kein Wasser herausfließen. Dies passiert erst, wenn man eine zweite Öffnung schafft, wo Luft hereinkommen kann. So ist das Horror Vacui Prinzip demonstriert. Die Gleichstellung von Raum und Materie ist für Aristoteles Weltanschauung grundsätzlich. Ohne diese wäre die Endlichkeit der Welt unbeweisbar, da hinter einem großen Raum ohne Materie sich wieder eine andere Welt befinden könnte. Die Aethertheorie wurde übrigens erst am Anfang dieses Jahrhunderts von Michelson und Morley widerlegt.

Die aristotelische Denkweise bekam in den zweitausend folgenden Jahren immer größere Bedeutung. Dies geschah teilweise weil das Werk so umfangreich ist: Es sind Texte über humane Themen, wie Ethik und Theater, und naturwissenschaftliche Themen, wie eben die Gestalt der Welt, vorhanden. Dieses Werk ist im Gegensatz zu vielen anderen griechischen Werken aus der vorathenischen Zeit nicht verloren gegangen. Wichtiges Merkmal der philosophischen Werke aus Athen ist auch, dass Himmel und Erde getrennt wurden und der Himmel nun der Ort der Perfektion Gottes ist, und dessen Gegenteil die menschliche und somit unvollkommene Erde ist. Im Mittelalter, wo das Christentum dominant war, konnte diese Idee sehr leicht übertragen werden (siehe Seite 17). Mit der Zeit wurden die Beobachtungen des Himmels genauer und das aristotelische System war nicht mehr hinreichend. Es wurde so sehr verändert und komplex gestaltet, aber die wesentlichen Aspekte, wie der Geozentrismus und das Horror Vacui, wurden beibehalten. Wir werden in dem folgenden Kapitel manche dieser Veränderungen näher ansehen.

2.3 Das Ptolomäische System



Abb. 1 Ptolomäus

Claudius Ptolomäus war ein griechischer Astronom, Mathematiker und Naturforscher. Es ist nicht bekannt, woher Ptolomäus stammt, doch lebte er in Alexandria zwischen 100 und 160 n.Chr. Aus seinem Leben sind keine Einzelheiten bekannt, doch seine Werke waren bis zum 16. Jahrhundert von erheblicher Bedeutung. Unter seinen wichtigen Werken befinden sich das „Geographie" und das „Almagest". Das zweite ist für uns in diesem Zusammenhang wichtig. Es war für Europa Jahrhunderte lang unbekannt, wurde aber schon früh von den Arabern übersetzt und über sie im zwölften Jahrhundert in das Christliche Europa eingeführt. Bis zum sechzehnten Jahrhundert galt es als Grundlage für die europäische Astronomie.

Das „Almagest" (von dem Arabischen, *al-Majisti*, d.h. das Große Werk, übersetzt) wurde geschrieben um Ungenauigkeiten des Aristotelischen Systems zu lösen. Es ist ein sehr umfangreiches Werk, eine komplette, detaillierte und quantitative Beschreibung der Welt. Die Ungenauigkeiten des Aristotelischen Systems bezogen sich auf die Planeten, ihre Bahn um die Erde. Die Beobachtungen entsprachen nur teilweise der aufgestellten Theorie. Die Fehler in dem Aristotelischen System wurden schon vor Ptolomäus erkannt, doch war er der erste, der das System hinreichend verbesserte. Der von der Erde aus sichtbare Verlauf der Planeten und die damalige Erklärungen dafür werden wir folgend erläutern.

Die Sterne sind alle Himmelskörper die eine kreisförmige, gleichmäßige, Bewegung um den Nordstern haben. Die Entfernungen zwischen ihnen sind konstant. Alle Himmelskörper die eine andere, bzw. komplexere Bewegung hatten, wurden Planeten genannt (so auch Sonne und Mond). Die Bewegungen der Planeten wurden in jeweils zwei Komponenten aufgeteilt: die tägliche Sternbewegung von Osten nach Westen und die viel langsamere West-Ost Bewegung. Die Sonne ist ein Beispiel dafür: Täglich geht sie im Osten auf und geht im Westen unter, doch ihre Lage im Verhältnis zu den Sternen wandert nach Westen (siehe Abb.2). Die erste ist die Sternbewegung, die zweite die entgegengesetzte. Die Griechen dachten, der Himmel sei eine Kugel in dessen Mitte die Erde ruhte. Diese Kugel drehe sich um ihre eigene Achse, die durch den Nordstern und durch den entgegengesetzten Südpol läuft. Genau zwischen den beiden Polen befindet sich der Äquator. Der Äquator wird von dem sog. Ekliptik,

der einen Winkel von 23,5° zu ihm bildet, geschnitten (siehe Abb.3). Die Sonne verläuft jährlich diese Bahn von West nach Osten. Die anderen Planeten bewegen sich in verschiedenen Geschwindigkeiten peripher zur Sonne. Doch sind ihre Bewegungen viel komplexer, unregelmäßiger und zeitlich nicht so konstant. Außerdem haben sie rückläufige Bewegungen, d.h., in einer West-Ost Bewegung befindet sich kurzzeitige Ost-West Bewegungen. Während diesen Rückläufen sind die Planeten auch stärker leuchtend (siehe Abb.4)

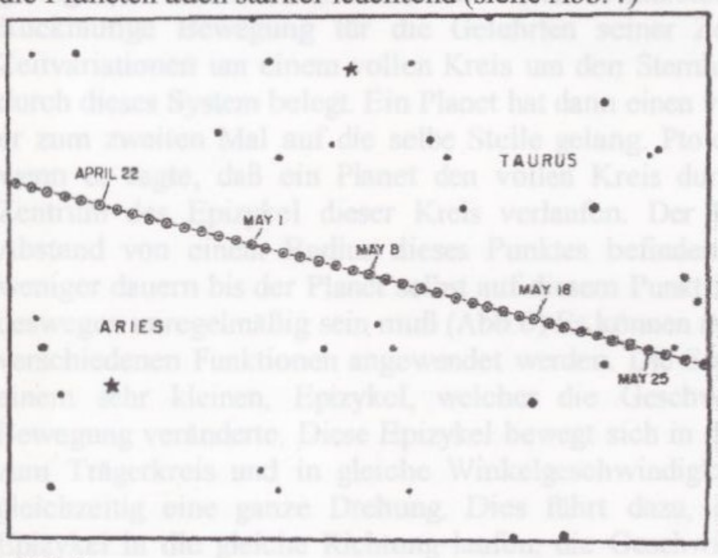


Abb. 2

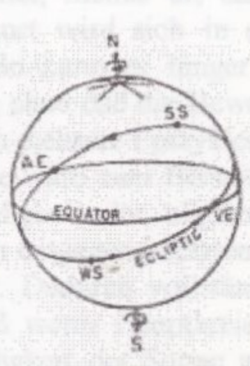


Abb. 3

Im vorigen Kapitel wurde bereits erläutert, wie Aristoteles komplexere Bewegungen durch Homozentrische Sphären erklärt hat. Die Bewegung der Sonne kann als Ergebnis der Bewegungen von zwei Sphären, deren Zentrum die Erde ist, erklärt werden. Die äußere dieser Sphären hätte dieselbe Bewegung wie die Sterne. Die innere hätte ihre Achse an der äußeren fixiert, so daß die Winkel zwischen den Achsen der beiden Sphären 23,5° beträgt (siehe Abb.5). Die innere Sphäre hätte eine der äußeren Sphäre entgegengesetzte, einjährige Rotation. Die Bewegung des Mondes wird auf ähnliche Weise erklärt, hat aber um die Geschwindigkeitsvariationen zu erklären eine dritte, sich sehr langsam bewegende Sphäre. Die rückläufige Bewegungen der anderen Planeten kann durch Hilfe von zusätzlichen Sphären verstanden werden. Doch wurde diese homozentrische Lösung kritisiert, weil sie keine Erklärung für das beobachtete stärkere Leuchten der Planeten während dem Rücklauf lieferte.

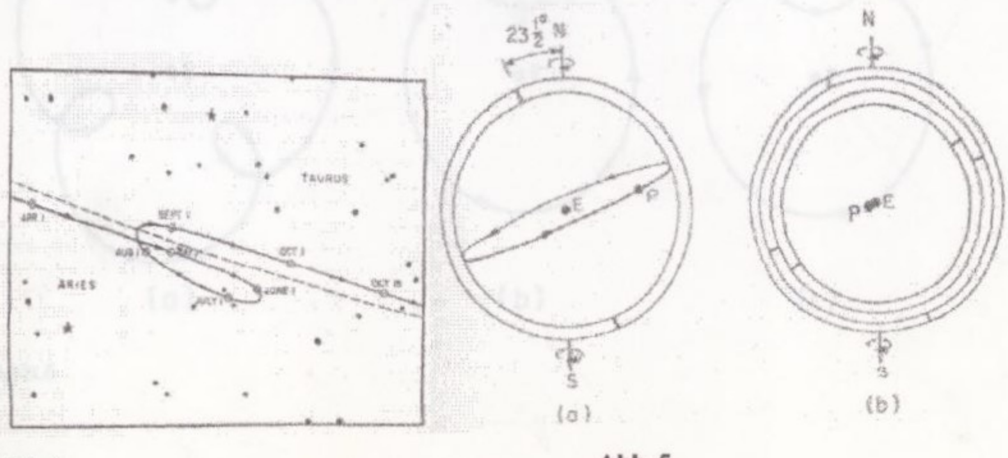


Abb.4 Abb. 5

Ptolomäus ergänzte das existierende System in dem er ein neues Konzept, den Epizykel, anwendete. Die Epizyklen waren Kreise, deren Zentren auf einem zweiten Kreis, den Deferente lagen. Dieser war normalerweise größer als der erste, und konnte die Erde als Zentrum haben (wir werden erstmals die Fälle behandeln, wo die Erde das Zentrum ist). Auf diesen Epizyklen lagen die Planeten. Diese Veranschaulichung begründete das stärkere Leuchten der Planeten als Folge des geringeren Abstandes zur Erde, und lieferte so hinreichende Erklärungen über die Rückläufige Bewegung für die Gelehrten seiner Zeit. Auch die gemessenen Zeitvariationen um einem vollen Kreis um den Sternhimmel zu durchlaufen wird durch dieses System belegt. Ein Planet hat dann einen vollen Kreis hinterlegt, wenn er zum zweiten Mal auf die selbe Stelle gelang. Ptolomäus definierte es anders: wenn er sagte, daß ein Planet den vollen Kreis durchlief, meinte er, daß das Zentrum des Epizykel dieser Kreis verlaufen. Der Planet wird sich in einem Abstand von einem Radius dieses Punktes befinden. So kann es länger oder weniger dauern bis der Planet selbst auf diesem Punkt ist, ohne daß die Bewegung deswegen unregelmäßig sein muß (Abb.6) Es können auch mehrere Epizyklen, mit verschiedenen Funktionen angewendet werden. Die Sonne wäre zum Beispiel auf einem sehr kleinen, Epizykel, welcher die Geschwindigkeit der allgemeinen Bewegung veränderte. Diese Epizykel bewegt sich in dem entgegengesetzten Sinn zum Trägerkreis und in gleiche Winkelgeschwindigkeit. Dadurch vollständigen gleichzeitig eine ganze Drehung. Dies führt dazu, daß wenn Hauptkreis und Epizykel in die gleiche Richtung laufen, die Geschwindigkeit der Sonne größer wird; umgekehrt wird sie geringer, wenn sie in entgegengesetzte Richtungen laufen. Trotz der Geschwindigkeitsvariationen verläuft die Sonne ihre Bahn genau in einem Jahr (siehe Abb. 7). Einen ähnlichen Effekt kann auch durch Anwendung von exzentrischen Laufbahnen und Äquanten. Exzentrische Laubahnen sind die, deren Zentren nicht auf der Erde legen, sondern auf einem anderen Punkt. Bei den Äquanten haben die Hauptkreise die Erde als Zentrum. Ein anderer Punkt im Kreis wird definiert. Die Winkelgeschwindigkeit des Planets bleibt im Verhältnis zu diesem Punkt konstant, die reelle Geschwindigkeit dagegen nicht (siehe Abb.8). Jahrhunderte später erhebte Kopernikus besonders gegen diese Methode Einwand.

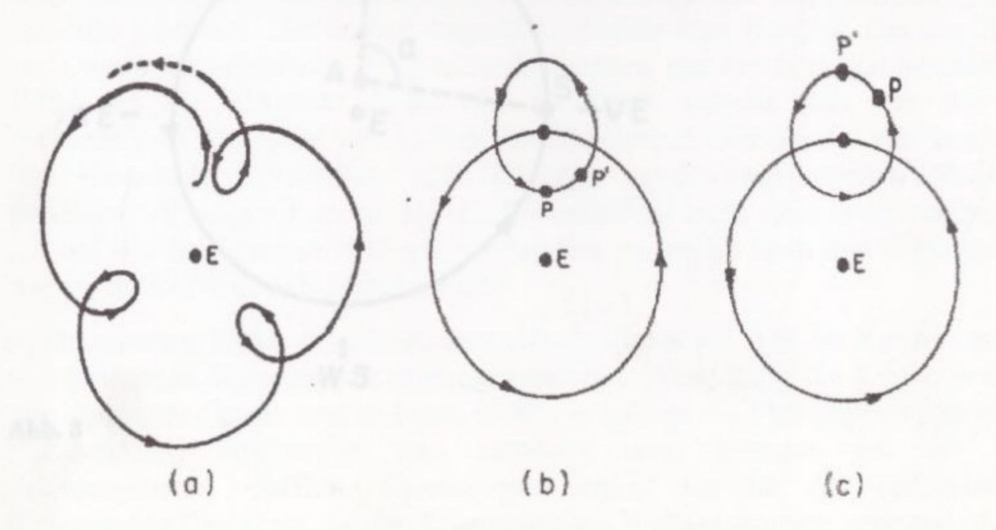


Abb.6

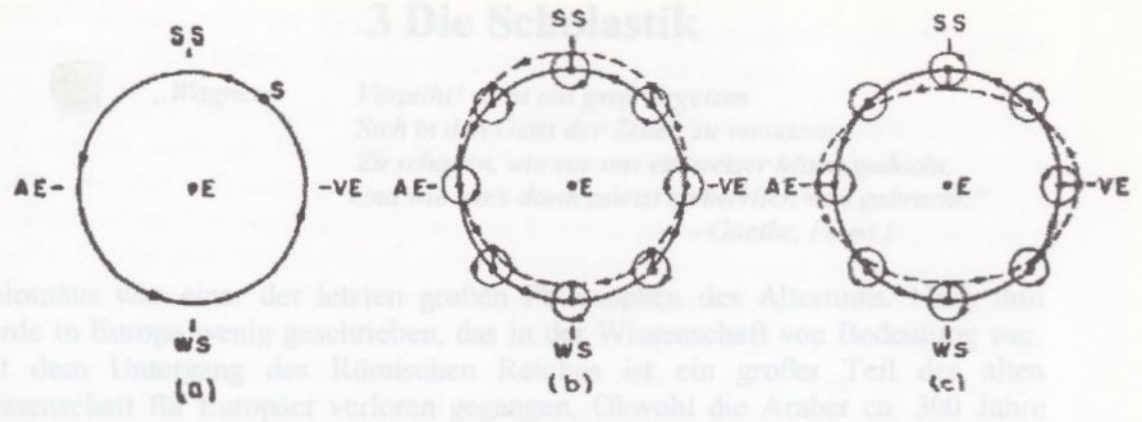


Abb. 7

Mit Hilfe dieser drei Methoden (Epizykeln, Exzentren und Äquanten) haben viele Astronomen in den folgenden fünfzehnhundert Jahren dieses Weltsystem entwickelt, so daß es immer besser in die Beobachtungen passte. Verschiedene Kombinationen wurden angewendet, ohne daß das System sich im Wesentlichen veränderte, aber trotzdem komplizierter wurde. Keiner hat jedoch geschafft, Beobachtungen und System hinreichend zu übereinstimmen. Kopernikus selbst hat in seinem System manche von diesen Methoden angewendet. So ist das Ptolomäische System nicht das System, was Ptolomäus selbst entworfen hat, sondern das System mit seinen Grundlagen, seinen Mechanismen. Obwohl dieses System Jahrhunderte lang in Europa unbekannt war, tauchte es zu Zeiten der Scholastik wieder auf und wurde bis zum 16. Jahrhundert komplett aufgenommen. Dies zeigt wie anschaulich und überzeugend das System ist; noch wichtiger, wie sehr es für die Fragen der Menschheit bis dahin hinreichend war.

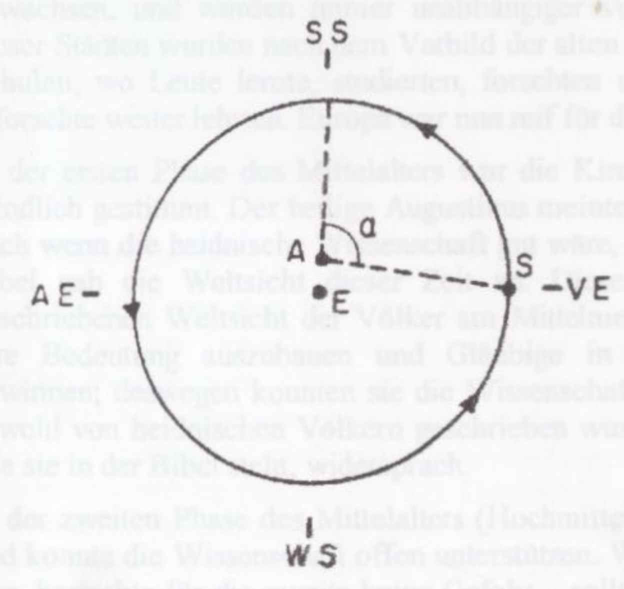


Abb. 8

3 Die Scholastik

„*Wagner:* *Verzeiht! es ist ein groß Ergetzen*
Sich in den Geist der Zeiten zu versetzen;
Zu schauen, wie vor uns ein weiser Mann gedacht,
Und wie wir's dann zuletzt so herrlich weit gebracht."
- Goethe, Faust I

Ptolomäus war einer der letzten großen Philosophen des Altertums. Nach ihm wurde in Europa wenig geschrieben, das in der Wissenschaft von Bedeutung war. Mit dem Untergang des Römischen Reiches ist ein großer Teil der alten Wissenschaft für Europäer verloren gegangen. Obwohl die Araber ca. 300 Jahre später diese Wissenschaft wieder entdeckten, kamen die Europäer erst wieder ab dem XI. Jahrhundert durch die Araber an diese Werke. Im Frühmittelalters herrschten in Europa Kriege, Einmärsche, Chaos. Die Landwirtschaft bot kaum ausreichend Nahrung für die Bevölkerung an. Diese Situation förderte auf keinen Fall die Entwicklung der Wissenschaft, da die Menschen sich hauptsächlich mit ihrem Überleben befassen mußten.

Die Situation änderte sich ab dem X. Jahrhundert grundsätzlich: die Situation in Europa stabilisierte sich, die Sterbensrate sank, das Feudalsystem und die Drei-Felder-Wirtschaft ermöglichten die hinreichende Produktion von Lebensmitteln für die gesamte Bevölkerung und eine lange Periode des Völkerwachstums setzte ein. Gleichzeitig lieferten die Kreuzzüge Europa Kontakt zu Byzanz und zu dem Islam. Diese entwickelten sich dadurch zu wichtigen Märkten in europäischen Handelsrouten. Der Europäische Handel gewann erstmals an Bedeutung, insbesondere in den großen Städten. Zu dieser Zeit sind die Städte deutlich gewachsen, und wurden immer unabhängiger von den Feudalherren. In vielen dieser Städten wurden nach dem Vorbild der alten Griechen Universitäten gebildet: Schulen, wo Leute lernte, studierten, forschten und wiederum das gelernte und erforschte weiter lehrten. Europa war nun reif für die Wiederkehr der Wissenschaft.

In der ersten Phase des Mittelalters war die Kirche der Wissenschaft gegenüber feindlich gestimmt. Der heilige Augustinus meinte zum Beispiel, daß die Christen, auch wenn die heidnische Wissenschaft gut wäre, nur den Glauben brauchten. Die Bibel gab die Weltsicht dieser Zeit an. Diese näherte sich sehr der in 2.1 beschriebenen Weltsicht der Völker am Mittelmeer. Die Kirche war noch dabei, ihre Bedeutung auszubauen und Gläubige in den barbarischen Völkern zu gewinnen; deswegen konnten sie die Wissenschaft noch nicht unterstützen, da sie sowohl von heidnischen Völkern geschrieben wurde als auch der Weltentstehung, wie sie in der Bibel steht, widersprach.

In der zweiten Phase des Mittelalters (Hochmittelalter) war die Kirche etablierter und konnte die Wissenschaft offen unterstützen. Wenn diese der Kirche unterlegen war, herrschte für die zweite keine Gefahr – sollten die Philosophen jedoch keine Unterstützung bekommen und autonom sein, könnten sie der Kirche Schwierigkeiten schaffen. Thomas von Aquin war für die Verbindung des Katholischen Glaubens und der Aristotelischen Weltanschauung verantwortlich: die aristotelischen „neun Spären" wurden zu dem katholischen „neun Himmelsebenen", die nun von Engeln getrieben wurden. Symmetrisch zu den

Himmelsebenen sind im Erdinneren die neun „Höllensphären". Die Menschen leben genau dazwischen, zwischen dem Guten und dem Bösen.

Die christliche Wissenschaft des Hochmittelalters wurde Scholastik genannt. Zu der Zeit wurden erstmals die alten griechischen Texte durch den Handel mit den Arabern wieder aufgenommen. Es ist wichtig anzudeuten, daß die Europäer nur zu den übersetzten Texten, d.h., auf arabisch, Kontakt hatten. So waren natürlich auch manche Fehler und falsche bzw. ungenaue Interpretationen vorhanden und es war nicht eindeutig, was genau im Originalwerk stand. Die Aufgabe der Scholastiker war, die Werke so gut wie möglich ins Lateinische zu übersetzen und sich folgend mit ihnen auseinanderzusetzen und eine passende Verbindung zur Religion aufzustellen. Ein wichtiges Merkmal der Scholastiker war das geringe Interesse an empirischen Daten und das Übermaß an rationalen Konstruktionen. Daten können verfälscht, ungenau sein, die Sinnesorgane können den Menschen täuschen; doch die Rationalität, der Gedanke und die logisch basierte Theorie sind rein von Fehlern, da sie verstanden werden müssen und nicht von Sinnesorganen und potentiell ungenauen Meßinstrumenten abhängig sind, Thomas von Aquin.

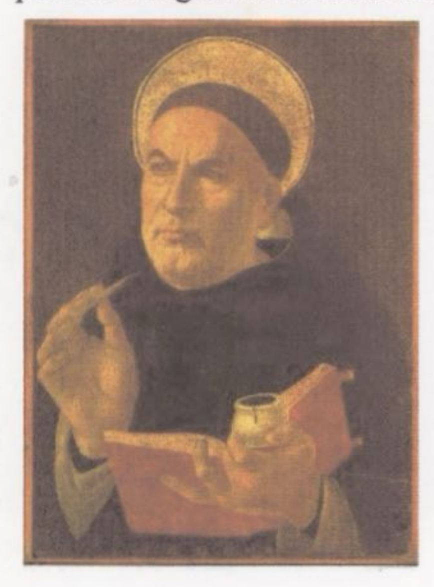


Abb. 2 Thomas von Aquin

Das Mittelalter war aber nicht nur Zeit der Verarbeitung von alten Ideen. Neue Theorien wurden formuliert, die in manchen Aspekten mit den Aristotelischen Theorien konkurrierten. Das beste Beispiel dafür war die „Theorie des Impetus". Diese hatte als Grundlage einen Fehler in der Aristotelischen Theorie: Aristotelis hatte nicht hinreichend erklären können, wie Gegenstände zum Boden fielen, wenn sie geworfen wurden (siehe Seite 12). Das Problem lag darin, daß die Gegenstände nicht direkt zu ihrer natürlichen Stelle fallen, sondern in Wurfrichtung fallen und so in einer bestimmten Entfernung zu dem Werfer. Die Scholastiker erfanden deshalb den Impetus: eine Bewegung, die der Werfer bei dem Wurf auf den Gegenstand überträgt, so daß dieser nicht gleich zu Boden fällt, sondern sich erst nach „vorne" bewegt.

Kopernikus kam zu einer Zeit, wo die Scholastiker immer noch die wichtigsten Wissenschaftler war, und die Kirche immer noch der wichtigste finanzielle Unterstützer der Wissenschaft. Auch er arbeitete mit ihrer Unterstützung und versuchte, Religion und Wissenschaft zu verbinden – deswegen wird er von vielen

als Scholastiker gesehen. Auf der anderen Seite aber legt er mehr Wert auf die Ästhetik, auf die mathematische Logik als auf die scholastische Logik, auf die „Innere Harmonie“ und auf ein System, was so einfach wie möglich sei. Eine neue Denkweise war dabei, sich zu verbreiten, in der die schon genannten Werte eine grundlegende Rolle spielten. Kopernikus Werk kam so genau zu der richtigen Zeit, um diese Werte in ein akzeptables System einzubetten, das von den Nachfolgern verbessert wurde. Deshalb – weil es den Anfang der neuen Denkweise dient – wird Kopernikus auch oft als ein Renaissance-Mensch eingeordnet. So haben wir uns dazu entschieden, ihn als Verbindung dieser beiden Denkweisen oder Epochen zu definieren.

4.1 Das Kopernikanische System

„When I am working on a problem I never think about beauty. I only think about how to solve the problem. But when I havefinished, if the solution is not beautiful, I know it is wrong."

- Buckminster Fuller (1895-1983)



Abb. 1 Kopernikus

In der neunzehnten Auflage der Brockhaus Enzyklopedie ist über Kopernikus zu lesen:

*„Kopernikus, Copernicus, Nikolaus, eigtl. N.Koppernigk, poln. Kopernik, Astronom u. Mathematiker, * Thorn 19.02.1473, + Frauenburg 24.05.1543. Nach dem frühen Tod des Vaters (1483) wurde die Ausbildung von K. durch dessen Onkel Lukas Watzenrode (1488-1512 Bischof des Ermlandes) überwacht. 1491-94 beschäftigte sich K. in Krakau mit humanist., mathemat. und astronom. Studien. 1496-1503 hielt er sich in Italien auf; in Bologna und Padua hörte er groß Medizin und Rechtswissenschaft. 1503 erfolgte die jurist. Promotion in Ferrara. Nach Frauenburg zurückgekehrt, wurde K. Sekretär und Leibarzt seines Onkels. 1510 übernahm er die Verwaltungsaufgaben eines Domherrn zu Frauenburg. Die astronom. Forschung, deren Ergebnisse K. berühmt machte, betrieb er stets als Privatmann* (. . .)"

Kopernikus wurde sehr von seinem Lehrer Novara beeinflußt. Dieser war einer der Übersetzer der Neuplatonischen Texte, d.h. der philosophischen Texte Platons' Nachfolger, und kritisierte das ptolomäische System auf dieser Basis. Diese Basis brachte er auch Kopernikus bei, der sie dann befolgte. Sie bestand darin, daß die Welt durch einfache mathematische Beziehungen zu verstehen sei: die Essenz der Welt sei mathematisch. Deshalb betrachteten Philosophen wie Novara und Kopernikus das Ptolomäische System als zu komplex, kompliziert und, so, als nicht der Wirklichkeit entsprechend.

Wirklich angekurbelt wurde die Revolution jedoch durch ein praktisches Problem. Der damalige Kalender, noch von Julius Cäesar eingeführt, war zu ungenau. Nach vielen Hundert Jahren war diese Ungenauigkeit dafür verantwortlich, daß die Sonnenwende um circa zehn Tage verschoben war. Dies war für die Landwirtschaft von Bedeutung, da die Zeit zum Pflanzen und zum Pflücken genau bestimmt werden mußten. Also beauftragte der Papst Leo X. Kopernikus, einen neuen Kalender zu entwickeln. Kopernikus nahm den Auftrag, und dies war der Ursprung der Entwicklung des Kopernikanischen Systems.

Nach vielem Forschen und berechnen, in dem Kopernikus versuchte, die Mathematik und das existierende System zu vereinen, kam er zu dem Schluß, das dies nicht möglich sei. Er entwickelte so sein eigenes, und der grundsätzliche Unterschied zu dem Ptolomäischen System war: Die Erde bewegte sich.

Kopernikus war nicht der erste, der dies behauptete. Die Pythagoräer, der Grieche Aristarchus, der mittelalterliche Bischof Nikolaus von Cues und manche andere hatten diese Hypothese schon vor Kopernikus aufgestellt. Der Unterschied zu ihm war, daß sie eine Metaphysische Argumentation hatten, die nicht standfest war. Kopernikus hatte dagegen mit seiner mathematischen ein in sich komplettes und koherentes System aufgebaut, durch Beobachtungen von den alten Phylosophen (und Beobachtern) unterstützt. Dieses System wird folgend beschrieben.

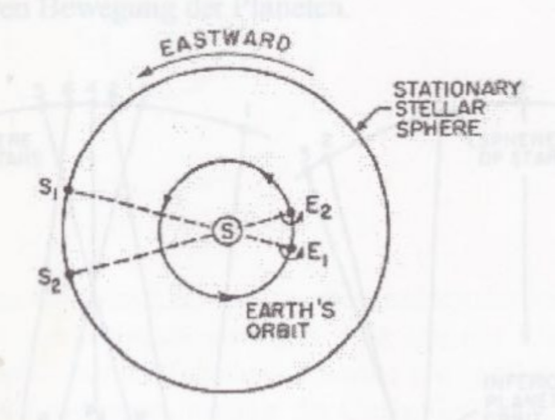


Abb. 2

Mittelpunkt unserer Welt war die Sonne. Die Planeten kreisten um sie. Das Revolutionäre war der neue Status der Erde: sie sei nun auch nur ein Planet in einer Bahn um einen anderen Körper. Die Bewegung der Erde bestand aus drei Komponenten: eine Rotation um die eigene Achse, eine kreisförmige Bewegung um die Sonne und eine kegelförmige Bewegung. Die von der Erde aus täglich beobachtete Bewegung der Sterne war von der Rotation verursacht; die kreisförmige erklärte die scheinbare Bewegung der Sonne um die Ekliptik; die kegelförmige war dafür verantwortlich, daß die Achse der Erde immer parallel zu sich selbst blieb (genauere Beschreibung folgt.).

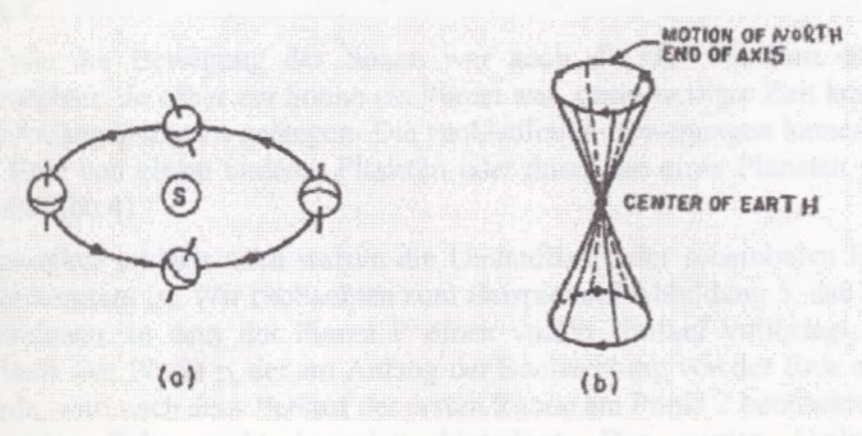


Abb. 3

Die Bewegung der Sonne, die von der Erde als eine Bewegung auf der Ekliptik und auf der Sphäre der Sterne beobachtet wird, wird nun als die Bewegung der Projektion der Sonne auf dieser Sphäre betrachtet. (Siehe Abb. 2) Die Achse der Erde mußte auch definiert werden. Da

die Ekliptik teilweise unter dem Sterneäquator, teilweise dadrüber war, mußte die Achse dem Äquator gegenüber schräg sein. Doch Kopernikus konnte sich nicht von den aristotelischen Kristallsphären lösen. So mußte ein Körper in dieser Sphäre immer mit der gleichen Seite zu dem Mittelpunkt gerichtet sein, wie z.B. Pferde in einem Karussell. (Siehe Abb.3a) Deswegen machte sich die dritte Bewegung der Erde, die kegelförmige, nötig. Diese Bewegung (siehe Abb. 3b) war eigentlich eine Achsenbewegung der Erde. Im Mittelpunkt der Erde ist der Treffpunkt von den Spitzen zwei imaginärer Kegel mit derselben Achse. Die Erdachse wäre die Generatrix dieser Kegel, und würde sich so an diesen entlang bewegen.

Kopernikus schaffte es auf dieser Weise, die scheinbare Bewegung der Erde und der Sterne zu erklären, doch gab es nur deswegen noch keinen Grund zu glauben, daß sein System besser sei als das ptolemäische. Die Stärke seines Systems lag in der Erklärung der scheinbaren Bewegung der Planeten.

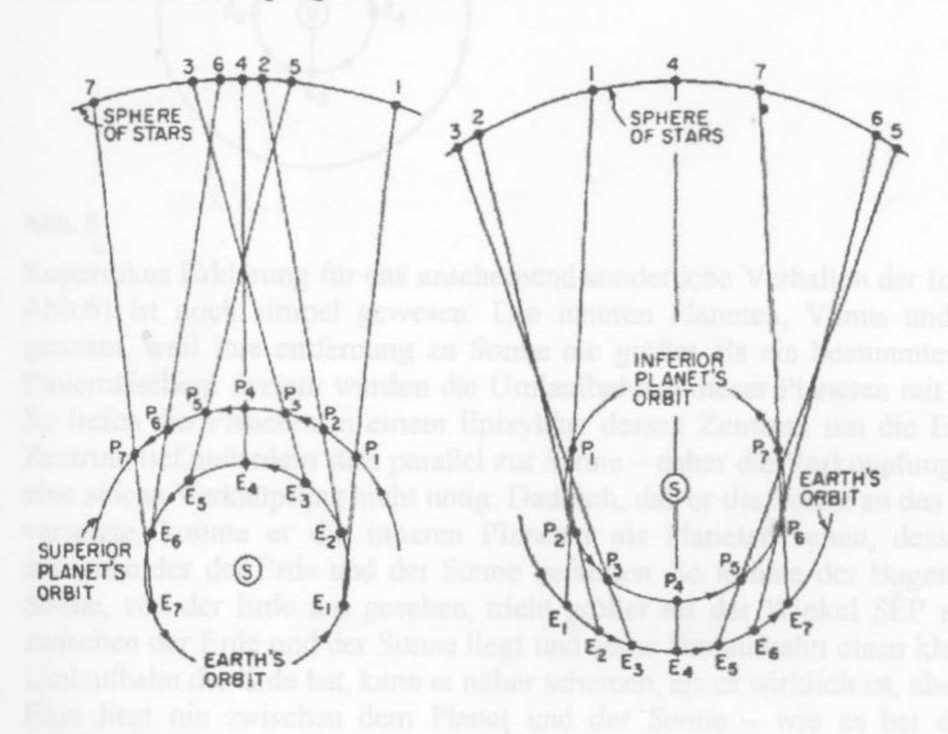


Abb. 4

So wie die Bewegung der Sonne war auch die der Planeten eine Projektion auf die Sternsphäre. Je näher zur Sonne ein Planet war, desto weniger Zeit brauchte er um wieder auf den Anfangspunkt zu gelangen. Die rücklaufende Bewegungen kamen durch die Überholung der Erde von einem anderen Planeten oder durch die eines Planeten von der Erde zustande. (Siehe Abb.4)

Kopernikus erklärte auch warum die Umlaufdauer der scheinbaren Bewegung der Planeten nicht konstant ist. Wir beobachten zum Beispiel auf Abbildung 5, daß die Erde in dem selben Zeitrahmen, in dem der Planet P einen vollen Umlauf vollbringt, 1,25 mal seine Bahn verläuft. Der Planet p, der am Anfang der Beobachtung von der Erde aus am Punkt 1 gesehen wurde, wird nach dem Verlauf der ersten Runde am Punkt 2 beobachtet – angeblich, als hätte er seine Bahn nicht komplett hinterlegt. Der zweite Umlauf erfolgt, und der Positionunterschied am Anfang dieser Beobachtung zu dem Anfang der vorherigen bringt auch andere Ergebnisse: nach dem Verlauf der Umlaufbahn des Planeten P wird dieser auf der Erde am Punkt 3 gesehen, d.h., an der selben Stelle wie am Anfang der ersten

Beobachtung. Es scheint also, daß nun das Umlaufen der Bahn schneller vor sich ging, was – wie auf der Figur zu beobachten ist – selbstverständlich nicht stimmt.

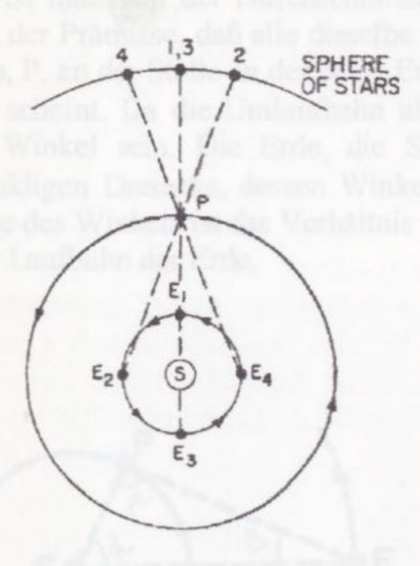


Abb. 5

Kopernikus Erklärung für das anscheinend sonderliche Verhalten der Inneren Planeten (siehe Abb.6) ist auch simpel gewesen. Die inneren Planeten, Venus und Mercur, wurden so gennant, weil ihre entfernung zu Sonne nie größer als ein bestimmter Bogen war. In dem Ptolemäischem System wurden die Umlaufbahnen dieser Planeten mit der Sonne verknüpft. So liefen die Planeten in einem Epizyklus dessen Zentrum um die Erde lief. Doch dieses Zentrum lief außerdem stets parallel zur Sonne – daher die Verknüpfung. Bei Kopernikus war eine solche Verknüpfung nicht nötig. Dadurch, daß er die Sonne an das Zentrum des Systems versetzte, konnte er die inneren Planeten als Planeten sehen, dessen Umlaufbahn sich zwischen der der Erde und der Sonne befanden. So konnte der Bogen zwischen P und der Sonne, von der Erde aus gesehen, nicht größer als der Winkel SÊP sein. Da der Planet P zwischen der Erde und der Sonne liegt und seine Umlaufbahn einen kleineren Radius als die Umlaufbahn der Erde hat, kann er näher scheinen, als er wirklich ist, aber nicht entfernter: die Erde liegt nie zwischen dem Planet und der Sonne – wie es bei den äußeren Planeten durchaus passiert – und so sind sie eben scheinbar immer der Sonne sehr nah.

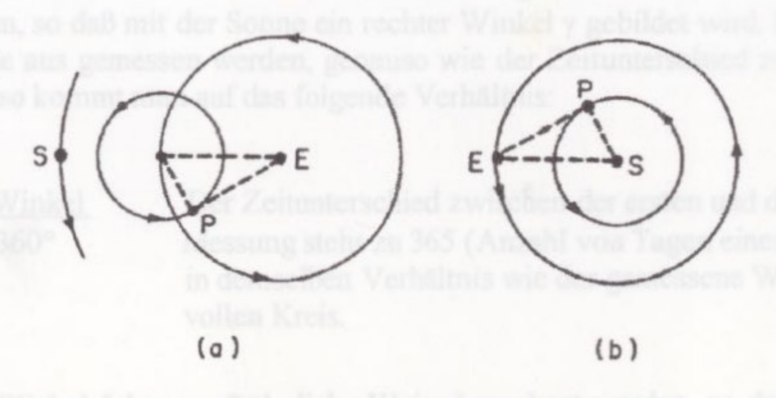


Abb. 6

Eine weitere wichtige Eigenschaft des Kopernikanischen Systems ist die Möglichkeit, die Reihenfolge der Umlaufbahnen der Planeten genau zu definieren. In dem Ptolemäischen System ist man von der Durchschnittsumlaufdauer des jeweiligen Planetens ausgegangen, und von der Prämisse, daß alle dieselbe Geschwindigkeit hatten. Abb. 7a zeigt einen Inneren Planeten, P, an der Stelle an der seine Entfernung zu der Sonne von der Erde aus gesehen am größten scheint. Da die Umlaufbahn als Kreis verstanden wurde, mußte der Winkel γ ein rechter Winkel sein. Die Erde, die Sonne und der Planet bilden die Eckpunkte eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen Winkel β von der Erde aus gemessen werden kann. Die Tangente des Winkels ist das Verhältnis zwischen dem Radius der Laufbahn des Planeten und dem der Laufbahn der Erde.

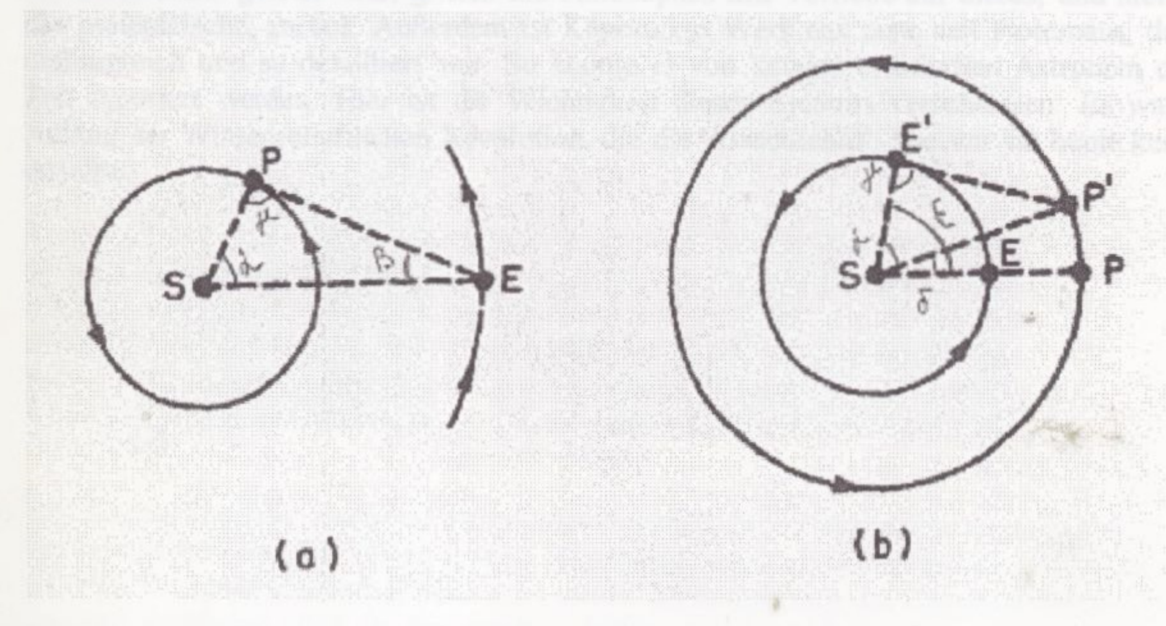


Abb. 7

Die Laufbahn der äußeren Planeten kann auf ähnliche Weise berechnet werden. Eine mögliche Berechnungsmethode ist auf Abbildung 7b zu sehen: Der Beobachtungsanfang sei in dem Moment, in dem Erde, Sonne und der äußere Planet P auf der Geraden SEP liegen. Dieser Augenblick ist von der Erde aus erkennbar, da Sonne und der Planet auf gegenüberliegenden Stellen im Himmel liegen. Außerdem ist hier der Planet mitten in einer rückläufigen Bewegung. Da die Erde ihre Umlaufbahn in kürzerer Zeit als die äußeren Planeten verläuft, muß die Erde zu einem bestimmten Augenblick an E‘ und der Planet P an der Stelle P‘ liegen, so daß mit der Sonne ein rechter Winkel γ gebildet wird. Dieser Moment kann von der Erde aus gemessen werden, genauso wie der Zeitunterschied zwischen beiden Augenblicken. Also kommt man auf das folgende Verhältnis:

$$\frac{ZU}{365} = \frac{Winkel}{360°}$$

Der Zeitunterschied zwischen der ersten und der zweiten Messung steht zu 365 (Anzahl von Tagen eines Erdjahres) in demselben Verhältnis wie der gemessene Winkel zu einem vollen Kreis.

Der Winkel Der Winkel δ kann auf ähnliche Weise berechnet werden, so daß das gesuchte Dreieck E'SP‘ einfach daraus berechnet werden kann: der Winkel δ wird von dem Winkel ε

subtrahiert, was den Winkel α ergibt. Durch diesen Winkel können die Radiusproportionen bestimmt werden.

Trotz der Revolutionären Denkweise, der Innovationen und der Wichtigkeit seines Systems, hat Kopernikus durch dieses keine größere Präzision als die Ptolemäer erreicht. Er konnte zum Beispiel selber die Geschwindigkeitsschwankungen der Bewegung der Sonne nicht erklären, und mußte später selber Epizykel und Exzentren in das System einführen. Sein System war auch, wie das Ptolemäische, trotz der riesigen Größe, in sich geschlossen. Doch wurde auf eine neue Weise argumentiert und auf die Simplizität Wert gelegt. Eine neue Denkweise baute sich zu Kopernikus' Zeit auf, und diese wurde zur Basis seines Systems. Als diese Basis gereift war, griffen die Philosophen mit Vorliebe auf dieses, und nicht auf das ptolemäische, zurück. Außerdem ist Kopernikus Werk das erste seit Ptolemäus, daß so umfangreich und so detailliert war. So konnte es von keinem ernsthaften Astronom dieser Zeit ignoriert werden. Hier ist die Wichtigkeit dieses Systems verschlossen. Es war der Anfang der Wissenschaftlichen Revolution, die die Wissenschaft, wie wir sie heute kennen, erstellte.

4.2 Die Entwicklung des Kopernikanischen Systems: Kepler und Brahe

„All truth passes through three stages. First, it is ridiculed. Second, it is violently opposed. Third, it is accepted as being self-evident."

- *Arthur Schopenhauer (1788-1860)*

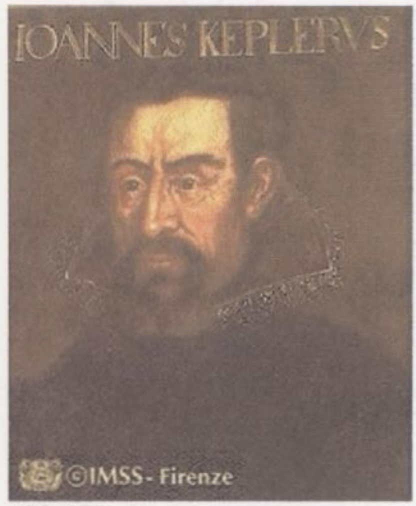


Abb.1 Kepler

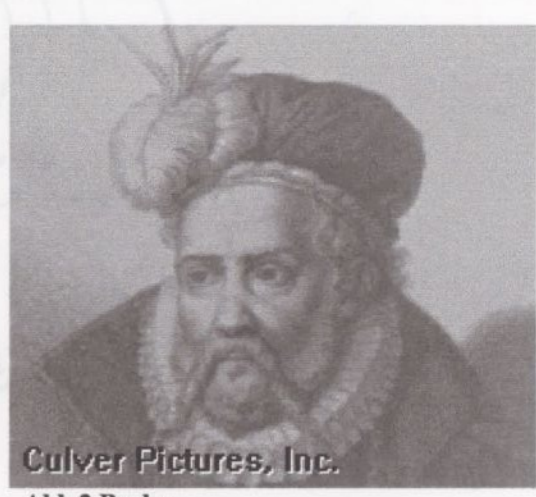


Abb.2 Brahe

Das Kopernikanische Werk war extrem mathematisch und umfangreich. Deswegen fand es in der Gesellschaft anfangs keinen großen Widerstand, da es als mathematische Abstaktion und nicht als Wirklichkeitsmodell betrachtet wurde. So konnte sich das Kopernikanische System langsam etablieren, und in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts waren Kopernikus Berechnungen schon weitgehend akzeptiert.

Tycho Brahe selbst ist ein Beispiel dafür, wie das Kopernikanische System angenommen wurde. Brahe war der größte Astronom des 16. Jahrhunderts. Er verbesserte die Beobachtungstechniken, so dass sie doppelt so präzise wie vorher wurden, und verwendete dies, um die astronomischen Daten, die Jahrhunderte lang übernommen aber nicht nachgerechnet wurden, und so sehr fehlerhaft waren, neu zu messen. So war für die anderen Astronomen eine neue Datenbasis vorhanden. Brahe erkannte zwar die Stärken des Kopernikanischen Systems, glaubte aber keinesfalls an Heliozentrismus. Dies begründete er damit, dass er die Paralaxe der Sterne nicht sehen könne. Paralaxe ist der Winkel zwischen den Sehstrahlen von zwei Beobachtungsorten aus zum selben Objekt, beobachtbar als scheinbare Verschiebung des Objekts vor dem Hintergrund. Sollte die Erde sich bewegen, so müssten sich die Sterne von der Erde aus gesehen „bewegen". Es wäre laut seinen Messungen nötig, dass die Sternkuppel mindestens 700 mal größer wäre als die Sphäre des Saturns, damit die Paralaxe, die im Heliozentrischem System erscheint, unbemerkbar ist. Das schien ihm zu absurd. Tycho Brahe erstellte also das Tychonische System. In diesem System war die Erde das Zentrum des Universums, um das sich der Mond und die Sonne drehten. Alle anderen Planeten kreisten um die Sonne.

Mathematisch ist dieses System äquivalent zu dem heliozentrischem, da die Positionen verhältnismäßig identisch waren. Dieses System war eine Verknüpfung zwischen dem Ptolomäischen und dem Kopernikanischem System, bei dem die aristotelische Grundidee und

dessen moralisch-religiöser Hintergrund beibehalten werden konnten, die mathematische Harmonie des Kopernikanischen Systems aber auch eingebettet wurde.

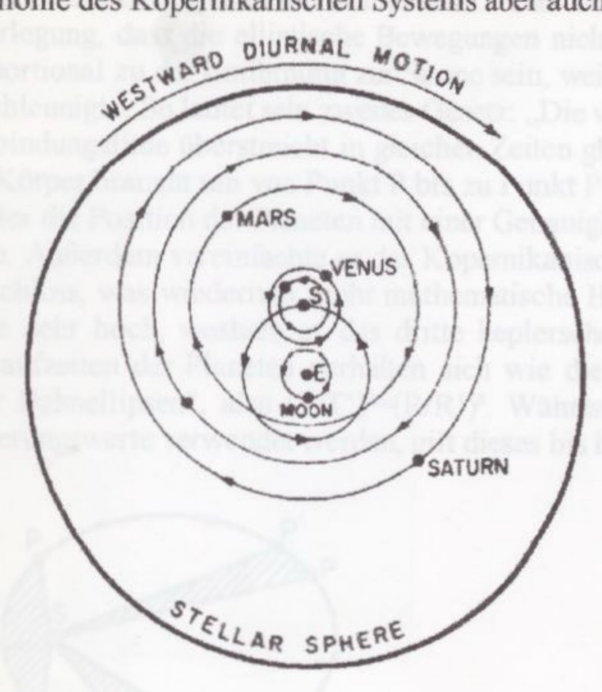


Abb. 3

Leider war dieses System widersprüchig. Die Kreisbahn des Mars' zum Beispiel würde die des Mondes schneiden (siehe Abb.3). Dies konnte bei dem Kristallsphärenprinzip des Aristotelischen Systems, welches von Tycho Brahe übernommen wurde, nicht geschehen. Außerdem kreisten die meisten Körper nicht um das Weltzentrum, sondern um einen anderen Körper: dies schien sehr unnatürlich. Brahe beobachtete auch im Jahre 1572 eine Nova, später auch Kometen. Durch seine Messungen bewies er, dass sich die beobachteten Körper außerhalb der Mondsphäre befanden: somit war auch bewiesen, dass der Himmel veränderlich ist.

Obwohl Brahe das Kopernikanische System nicht als Weltmodell ansah, waren seine Messung dafür zuständig, dass dieses System später durch Kepler Erfolg hatte. In den letzten Jahren vor seinem Tod hat Brahe mit Johannes Kepler gearbeitet. Kepler verwendete Brahes Messungen um seine eigenen Theorien zu formulieren, die den Heliozentrismus als Ausgangspunkt hatten. Kepler unterstützte den Heliozentrismus unter anderem wegen seinen neoplatonischen Überzeugungen. Er sagte, die Sonne sei der einzige Himmelskörper der „wegen seiner Würde und seiner Macht dafür geeignet sei, das Haus Gottes und der Erste Beweger zu sein". Die Sonne hatte für Kepler eine starke mythische Funktion, die die Erstellung des Heliozentrischen Modells begründete.

Obwohl er ein heliozentrisches Weltmodell erstellt hatte, berechnete Kopernikus die Bewegung der Planeten im Verhältnis zur Erde, was sehr viele Schwierigkeiten mit sich brachte. Kepler war der erste, der die Bewegungen unabhängig von der Erde berechnete, ohne der Erde eine besondere Stellung zu geben. Er versuchte ein System zu finden, dass sich an die Beobachtungen von Brahe anpassen lies, wobei er Epizyklen verwendete. Trotzdem war dies nicht einfach. Manche der von ihm erstellten Modelle hätten die alten Messungen beherbergen können, aber nicht die Messungen von Brahe. Bald gab Kepler die Epizyklen auf und versuchte, die Bewegung durch verschiedene Kurven zu erklären: so kam er zu Ellipsen,

und erstellte somit das erste keplersche Gesetz: „Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht." Das zweite Gesetz folgte und stammte aus seiner Überlegung, dass die elliptische Bewegungen nicht konstant sein könnten. Es müsste invers proportional zu der Entfernung zur Sonne sein, weil sie der Erste Beweger sei und die Körper beschleunigte. So lautet sein zweites Gesetz: „Die von der Sonne zu einem Planeten gezogene Verbindungslinie überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen" (siehe Abb. 4; die Zeit die der Körper braucht um von Punkt P bis zu Punkt P' zu kommen ist immer gleich). So konnte Kepler die Position der Planeten mit einer Genauigkeit voraussehen, die es nie zuvor gegeben hatte. Außerdem vereinfachte er das Kopernikanische System dadurch, dass er die Epizyklen ausschloss, was wiederrum mehr mathematische Harmonie bedeutete. Auch Kepler schätzte diese sehr hoch, weshalb er das dritte keplersche Gesetz formulierte: „Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen Halbachsen ihrer Bahnellipsen", also $(T/T')^2=(R/R')^3$. Während die ersten zwei Gesetze heute nur für Näherungswerte verwendet werden, gilt dieses bis heute unverändert.

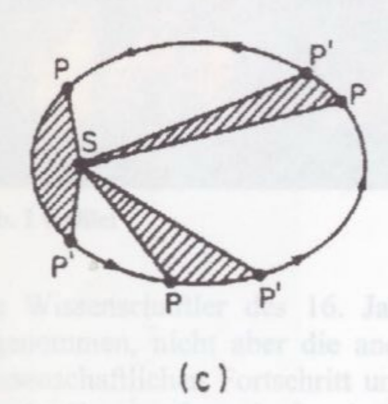


Abb. 4

Diese Verhältnisse zeigten Kepler, dass mathematische Harmonien im ganzen Universum präsent waren, und faszinierten ihn deshalb. So erstellte Kepler weitere Gesetze, die jedoch keine Bedeutung für die Zukunft hatten.

Somit war das Problem der Planeten gelöst: Kepler zeigte die Überlegenheit des Heliozentrismus' und es lies sich immer weniger dagegen einwenden. Doch nun mussten das Volk und die Teile der Bevölkerung, die sich nicht mit Astronomie beschäftigten davon überzeugt werden. Für sie waren Theologie und Metaphysik viel wichtiger als mathematische Harmonie. Die neue Theorie musste also „popularisiert" werden.

Dafür war Galileo Galilei zuständig, über den wir im nächsten Kapitel schreiben werden.

4.3 Popularisierung des kopernikanischen systems: Galilei

"I do not feel obliged to believe that the same God who has endowed us with sense, reason, and intellect has intended us to forgo their use. "

- Galileo Galilei

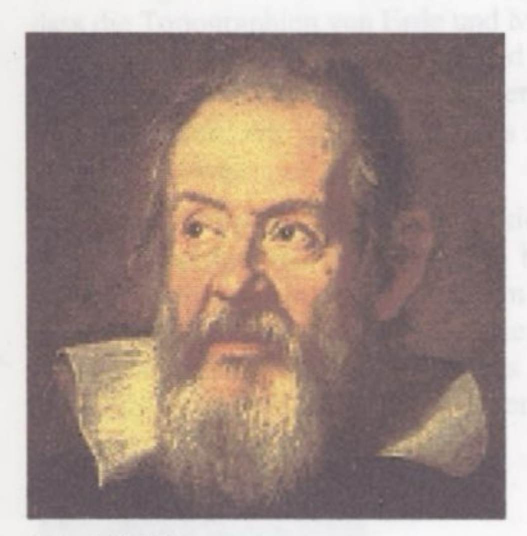


Abb. 1 Galilei

Die Wissenschaftler des 16. Jahrhunderts hatten die Theorien Kopernikus' zwar schon angenommen, nicht aber die anderen Teile der Bevölkerung. Die Kirche, die vorher den Wissenschaftlichen Fortschritt unterstützt hatte, stellte sich nun streng dagegen: es war die Zeit der Gegenreform, in der sie ihre Dogmen bestätigen mußte, um gegen die Protestantische Kirche ankommen zu können. Die Protestantische Kirche sah die Theorien von Kopernikus auch nicht an, weil sie angeblich der Bibel widersprach. Für das einfache Volk waren die Theorien unverständlich, weil sie zu mathematisch waren: obwohl Kepler durch seine Messungen bewies, das dieses System dem vorherigen überlegen war, war es für Menschen, die sich nicht mit Astronomie beschäftigten, zu „unnötig" kompliziert. Galilei hat das System schließlich popularisiert, und in diesem Kapitel werden wir sehen, wie er es tat.

Galileo Galilei wurde am 15. Februar 1564 in Pisa, Italien, geboren, also sehr lange nach Kopernikus' Tod. Er studierte in der Universität von Pisa Medizin, ohne das Studium jedoch zu beschließen: er widmete sich später lieber dem Philosophie- und dem Mathematikstudium. 1589 war er in Pisa als Mathematiklehrer tätig, und widerlegte dabei oft das Aristotelische System. In Padua erarbeitete Galilei 1592 den wichtigsten Teil seiner Studien. Galilei legte auf Meßpräzision und auf Experimente und Beobachtungen besonderen Wert. Deshalb wird er heute von vielen Wissenschaftlern als der Gründer der wissenschaftlichen Methodenlehre angesehen. Neben den astronomischen Beobachtungen machte Galilei auch wichtige Studien über Mechanik und Kinematik.

Galilei führte seine Beobachtungen mit einem in Holland neu erfundenem Instrument durch, dem Fernrohr. Doch während es sonst dafür verwendet wurde, ferne Objekte an Land und Meer zu beobachten, richtete Galilei es auf den Himmel und beobachtete damit die Sterne. Er machte so neue und wichtige Beobachtungen. Die erste wichtige Beobachtung war, dass durch das Fernrohr viel mehr Sterne sichtbar waren als mit dem bloßen Auge. Diese Feststellung unterstützte die These die manche Anhänger der neuen Astronomie schon verteidigten, dass das Universum unendlich sei. Die zweite wichtige Beobachtung war, dass

die Sterne ihre Größe durch das Fernrohr nicht veränderten, woraus zu schließen war, dass sie wirklich sehr groß seien, aber auch sehr weit entfernt.

Galilei beobachtete den Mond und die Schatten, die die Erde auf ihn projizierten, besonders intensiv. Er entdeckte, dass der Mond Berge hat und berechnete mit Hilfe der bekannten Entfernungen zwischen Sonne, Erde und Mond die Höhe dieser Berge. Er schloss daraus, dass die Topographien von Erde und Mond sich sehr ähnelten (siehe Abb. 2). Auch die Sonne wurde von Galilei beobachtet. Er fand auf der Sonne Flecken die sich bewegten und auf eine Drehung der Sonne um ihre eigene Achse deuteten. Mond und Sonne waren also unvollkommen, wie die Erde: daraus schloss Galilei, dass die Erde ein Himmelskörper wie alle anderen war.

Die Beobachtung von Jupiter zeigte sich als eine der überraschendsten überhaupt. Um diesen Planeten wurden vier kleine Punkte beobachtet, die Monde des Jupiters. Im Gegensatz zu dem Geozentrischem Modell war im Heliozentrischem Modell die Erde nicht der einzige Körper, um den andere Körper rotierten. In diesem System war es nicht nötig, dass alle Körper sich um den Mittelpunkt des Universums drehten. Diese Beobachtung widersprach dem Ptolomäischen System, war aber auch ein sichtbares Beispiel dafür, dass die Planeten sich um die Sonne drehen könnten.

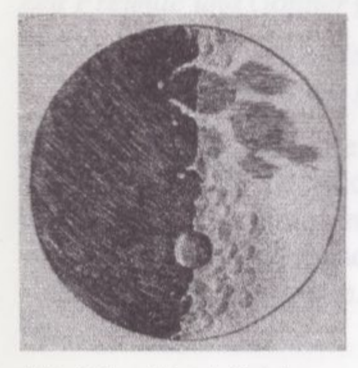
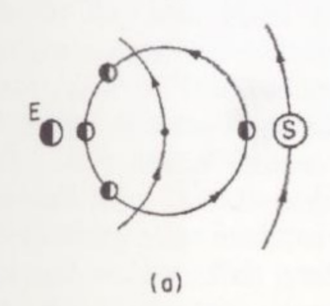


Abb. 2 Der Mond; Zeichnung von Galileo Galilei

Als Letztes beobachtete Galilei auch die Phasen der Venus. Nach dem Ptolomäischen System befindet sich Venus auf einem Epizyklus dessen Bewegung der der Sonne entspricht. So könnte man von der Erde aus nicht mehr als eine schmale zunehmende Venus sehen. Kopernikus aber schrieb, in seinem „De Revolutionibus", dass man Venus immer sehen könnte, außer in der Vollphase und in der Neuphase. (siehe Abb. 3) In diesen Phasen wäre sie wegen den Positionen von Erde, Sonne und Venus selber nicht sichtbar. Dies war eine unbewiesene Voraussagung, die Galilei erst durch die Beobachtungen durch sein Fernrohr bestätigte, denn die Phasen der Venus ist mit bloßem Auge von der Erde aus nicht sichtbar. Die Bestätigung der Theorie Kopernikus' durch die Beobactungen Galileis bewiesen sich als wichtiges Argument für das Heliozentrische System.



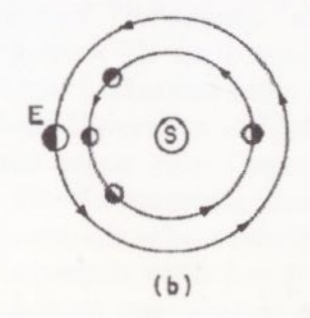


Abb. 3

Doch keine der Beobachtungen erstellte einen wirklichen Beweis für das Kopernikanische System. Das Ptolomäische System könnte angepasst werden, so dass alle Beobachtungen, außer der der Venusphasen, eingefügt werden könnten, und selbst diese könnten durch das Tychonische System plausibel erklärt werden. Aber die Wissenschaftler, die das Geozentrische Modell verteidigten waren konservativ und wollten Veränderungen nicht ansehen. Wer bereit war, so viele Veränderungen des Geozentrischen Systems zu akzeptieren war normalerweise auch dazu bereit, ein ganz neues System zu akzeptieren. Indem er das Ptolomäische System so wie es derzeit existierte entkräftete popularisierte er sowohl das heliozentrische Modell, als auch die Wissenschaft als solches.

„*Galileos Hauptleistung besteht in der neuen Auffassung von der Möglichkeit physikal. Erkenntnisse. An die Stelle der Frage nach dem >Warum< setzte er die Frage nach dem >Wie< eines Prozesses; denn nur so könne die menschl. Ratio mit Hilfe der Mathematik Einblickin den göttl. Schöpfungsplan gewinnen. G. begründete (wenn er auch Anreger hatte) – mit R. Descartes – ein neues Zeitalter der Wissenschaft, v.a. durch eine klare Methodenlehre (Mathematisierung der Natur); er war ein bedeutender philosoph. Denker und zugleich ein guter Beobachter. Als glänzender Redner und Schriftsteller hat er sich einer sich anbahnenden neuen Naturwissenschaft und ihren Methoden unter den Gebildeten seiner Zeit Freunde und Gönner geworben und sie zu weiteren Forschungen angeregt.*

G. war einer der ersten Italiener, die sich für die Darstellung naturwissenschaftl. Probleme in ihren Werken auch der Muttersprache bedienten. (...)" – Brockhaus, 19. Auflage

Es herrschte noch lange Widerstand gegen die neue Theorie. Galilei wurde von der Inquisition angeklagt, nicht-astronomische Probleme, die das System mit sich brachte, blieben ungelöst. Doch langsam verloren die geozentrischen Weltmodelle ihre Anhänger, und am Ende des 18. Jahrhunderts gab es im wissenschaftlichen Medium keinen mehr, der den Heliozentrismus verneinte. Für die Astronomen war die Kopernikanische Revolution hiermit beendet.

5.1 Die neue Kosmologie

„Nature and Nature's laws lay hid in night
God said ‚Let Newton be' and all was light"
- Pope

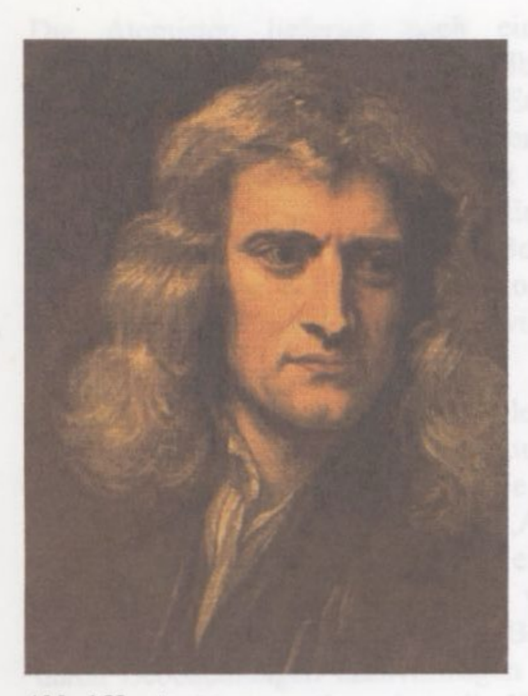


Abb. 1 Newton

Kepler hatte das Problem der Planeten einfach und zusammenhängend gelöst. Die Kopernikanische Revolution war von dem astronomischen Sichtpunkt aus gelöst, aber es sind neue Probleme entstanden, die durch das Aristotelische System nicht lösbar waren. Wie sollte zum Beispiel erklärt werden, dass ein Stein, der senkrecht nach oben geworfen wird, auch wieder auf die selbe Stelle auf den Boden fällt, obwohl die Erde sich bewegt? Oder wie sollte erklärt werden, wie die Körper zusammenhängen? Diese Fragen wurden erst hundert Jahre nach dem „De Revolutionibus" durch Newton beantwortet. Aber bevor wir zu Newton kommen wollen wir noch kurz erläutern, was in diesen 100 Jahren wissenschaftlich passiert ist.

Kopernikus, Kepler und Galileo glaubten an ein endliches Universum, dessen Zentrum die Sonne sei. Diese Idee war für den Geozentrismus unentbehrlich, da nur ein endliches Universum ein Zentrum haben kann. Doch in dem neuen Universum bewegten sich die Körper im Verhältnis zueinander, so das das Universum nicht mehr endlich sein musste. So wurde die Idee eines unendlichen Universums von den Wissenschaftlern langfristig aufgenommen. Ein weiteres Argument für die Unendlichkeit des Universums erschien, als man durch das Teleskop neue Sterne beobachtet hatte, die vorher unbekannt waren. Auch die Tatsache, dass das Kopernikanische Universum viel größer sein musste als das Ptolomäische. Vor 1600 hatte Giordano Bruno schon eine Theorie aufgestellt, in der das Universum unendlich sei. Grundlage dieser Theorie waren die Ideen Kopernikus' und die neoplatonische Vorstellung eines fruchtbaren Gottes, der seine unendlich vielen Möglichkeiten ausnutzt, und so auch ein unendlich großes Universum dafür hat. Bruno basierte seine Gedanken auf die von den Humanisten wiederentdeckten griechischen Atomtheorie. Die Atomisten glaubten, die Welt bestehe aus unteilbaren Partikeln, die im Leeren wandern und bei Kolision neue,

komplexere Körper formen. Die Philosophen, die diese Idee der „Leere“ akzeptieren konnten, konnten auch ein Universum mit unendlich vielen Sternen um die unendlich viele Planeten kreisen akzeptieren. Erde und Sonne hatten in dieser neuen Welt keine besondere Stelle mehr, und man unterschied nicht mehr zwischen Himmel und Erde. So schien es natürlich, dass das Kopernikanische Universum, wo dieser Unterschied ebenfalls nicht existierte, atomistisch wäre.

Die Atomisten lieferten noch einen anderen wichtigen Baustein für das neue wissenschaftliche Denken: die unteilbaren Partikel. Descartes entwickelte eine auf dieses Prinzip fundamentierte Kosmologie. Er sagte, alles bestehe aus neutralen Partikeln, das heißt, aus Partikeln ohne angeborenen Eigenschaften. Eine Partikel würde sich immer geradlinig und mit konstanter Geschwindigkeit bewegen, außer bei der Kolision mit einer anderen Partikel. So wäre alles auf der Welt Ergebnis dieser Partikel und ihrer Kolisionen. Descartes versuchte dadurch nur erfolglos die Bewegungen der Erde und des Himmels zu beschreiben, doch stellte er der Welt eine neue Kosmologie vor, die nicht von geheimnisvollen Kräften, sondern von natürlichen Wechselwirkungen, die rationell verstanden werden konnten, abhängig war.

Zu der Zeit waren viele Wissenschaftler speziell damit beschäftigt, was die Planeten bewegte. Kepler war der erste der die Idee formulierte, die Sonne könne für die Bewegung der Planeten verantwortlich sein. Er sagte, dass die Planeten sich durch eine Kraft bewegten, die von der Sonne kam. Diese Kraft nannte er „Anima Motrix“: sie würde die Planeten an die Sonne ziehen. Die elliptischen Kreisbahnen erklärte er durch das gerade entdeckte Magnetische Feld der Erde. Die Erde und die Sonne würden sich gegenseiteig abwechselnd anziehen und abstoßen, woraus sich die gekannte Bewegung ergebe. Diese Erklärung konnte jedoch nicht durch Beobachtungen nachvollzogen werden. Schließlich gab Hooke eine Erklärung, die später auch Newton übernahm: die Körper würden sich, wie Descartes schon gesagt hatte, geradlinig und mit konstanter Geschwindigkeit bewegen, außer wenn sie ein anderer Körper daran hinderte. So müssten auch die Planeten von einer Kraft beeinflußt werden, um Kurven zu schließen; diese Kraft käme von der Sonne, und wäre eine Anziehungskraft. Die Verknüpfung der geradlinigen Bewegung mit der Kraft der Sonne würde die Kreisbahn erfolgen. Hooke bewies dies 1666 mit einem Experiment, welches er in der Royal Society in London durchführte. Hier verwendete er ein Pendel: wenn das Pendel aus seiner Ruhelage gezogen wird, ist die einzige auf ihn wirkende Kraft die, die ihn zurück zu der Ruhelage zieht. Wenn das Pendel losgelassen wird, bewegt es sich vor- und rückwärts, immer senkrecht. Hooke versetzte dem Pendel nun einen Stoß, der senkrecht zur Geraden war, die das Pendel durchläuft. Das Pendel bewegte sich dann in einer längeren Kreisbahn, wie eine Ellipse, um die eigene Ruhelage. Darauf ankommend, wie es angestoßen wird, kann das Pendel entweder eine in einer senkrechten Kreisbahn, in einer Ellipse oder weiterhin geradlinig weiterbewegen. So erklärte Hooke nicht nur die Bewegung der Himmelskörper, sondern demonstrierte auch, dass die selben Prinzipien die für die auf der Erde gelten auch für das Universum anwendbar sind. Newton, würde dies noch veranschaulichen, wie in Abb. 2, wo gezeigt wird, dass eine Kanonenkugel weiter fliegt, je schneller sie fliegt, und dies steigbar ist bis sie schließlich nicht mehr fällt, sondern um die Erde kreist.



Abb 1

Newton veröffentlichte seine Theorien in dem Werk „Philosophiae naturalis principia mathematica" (Mathematische Prinzipien der Naturlehre). Die Planetenbewegung, die Hooke qualitativ erklärt hatte, erklärte Newton nun auch quantitativ. . Dazu verwendete er sehr moderne Methoden, von denen er manche selbst entwickelt hatte. Um sein Gravitationsgesetz zu demonstrieren basierte er sich auf das dritte keplersche Gesetz. Newtons Gravitationgesetz wird von uns bis heute verwendet und lautet:

$F = \gamma \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$ (F Betrag der Anziehungskraft, m_1, m_2 Massen der beiden Körper, r Abstand der Massenmittelpunkte, γ Gravitationskonstante $6{,}672\ 10^{-11} \cdot \mathrm{Nm^2kg^{-2}}$).

Dieses Gesetz gilt sowohl für Himmelskörper, als auch für Körper auf der Erde. Er erklärte dann das erste und das zweite keplersche Gesetz, und konnte durch diese einfache Verhältnisse später nicht nur andere Gesetze, wie das Trägheitsgesetz, das dynamische Grundgesetz und das Wechselwirkungsgesetz (die Grundgesetze der Mechanik) formulieren, sondern schien es auch möglich, fast alle beobachteten physikalische Phänomäne zu erklären. Trotzdem erkannte Newton selber noch zwei Fehler in seinem Werk. Der erste war ein scheinbarer Widerspruch mit der Atomtheorie. Seine Theorie besagte, dass die Anziehungskraft sich proportional zu den Entfernungen der Mittelpunkte der Körper zum Quadrat veränderte. Es schien natürlich, dass auf einen entfernten Körper die Kraft aller Atome auf der Erde sich wie die Kraft eines Atoms im Mittelpunkt verhielten, da die Entfernungen zwischen den einzelnen Atomen der Erde und denen des Körpers irrelevant waren. Doch für einen Körper der der Erde nah war schien es widersprüchig, dass die Fallbewegung in Richtung Erdzentrum verlief, da die Partikel an der Oberfläche eine viel stärkere Anziehung ausüben würden. Doch Newton bewies mathematisch, dass selbst in diesem Fall die Masse aller Partikel der Erde als im Erdzentrum konzentriert betrachtet werden können.

Somit war die erste Frage gelöst, nicht aber die zweite, die viel komplexer und wichtiger für seine Theorie war: was provozierte die Anziehungskraft der Körper? Wie können zwei Körper, die voneinander getrennt sind, sich gegenseitig beeinflussen? Die Tendenz der Körper, sich einander anzuziehen, gleicht den natürlichen Tendenzen aus den Theorien Aristoteles', die derzeit stark bekämpft wurden. So war es zu erwarten, dass Newton selber und andere Wissenschaftler skeptisch gegenüber dieser Kraft waren. Newton glaubte, noch

eine Lösung für dieses Problem finden zu können, wie er es bei dem ersten getan hatte. Doch dies trat nicht ein: die Lösung wurde erst in unserem Jahrhundert gefunden, durch Mittel, die Newton absolut fremd waren.
Trotz diesem Fehler war dieses System sehr stark. Es setzte sich durch, und die Nachfolger Newtons nahmen diesen Fehler gern in Kauf, um die vielen Vorteile des Systems zu nutzen. Die Anziehungskraft erklärte in der Astronomie das Auftreten von vielen kleinen Veränderungen in dem Lauf der Planeten, die vorher oft ignoriert worden waren. Die Beobachtung dieser kleinen Veränderungen in der Kreisbahn des Uranus wäre ihrerseits für die Entdeckung des Neptuns, in 1846, zuständig. Lavoisier revolutionierte die Chemie mit einem von Newtons Massentheorie abgeleiteten Konzept, dass das Gewicht einer Substanz eine Verbindung mit seiner Menge hätte. Auch die Religion wurde revolutioniert: Gott wurde nicht mehr als präsente Kraft sondern als Schöpfer gesehen, der die Welt wie eine Uhr geschaffen hat und sie alleine laufen lässt. Er ist nicht mehr ein konkretes Dasein, das im Himmel auf dem Thron sitzt, sondern eine abstrakte und absolute Anwesenheit, die mit der Vorstellung des Weltalls verwechselbar ist. Man sah, dass auch die Natur durch das Kennenlernen verändert werden kann. Newton schloss den von Aristoteles begonnenen Zyklus: die Welt stand wieder vor einer kompletten und zusammenhängenden Weltanschauung, die in allen Wissensbereichen kohärent ist. Doch selbst diese so starke Weltanschauung wurde am Anfang unseres Jahrhunderts durch Revolutionen von Einstein und der Quantenphysik in Frage gestellt. Die Folgen dessen spüren wir heute. Doch unsere Arbeit ist schon hier beendet.

Quellenverzeichnis

Barnes, Barry, *T.S. Kuhn and Social Science*, New York, Columbia University Press, 1983

Brockhaus, "Galilei, Galileo" Mannheim, 1986 (1.Buch), Band 8, S.95

Brockhaus, "Kopernikus, Nikolaus", 1986 (1. Buch), Band 12, S. 340

Brockhaus, "Ptolomäus", Mannheim, 1986 (1.Buch), Band 17, S. 604

Bucher, Martin A. und Spergel, David N., „Inflation in a Low-Density Universe", *Scientific American,* Januar 1999, Band 280, Nummer 1.

Copernicus, Nicolaus, *Commentariolus,* São Paulo, Nova Stella Editorial, 1990

Drake, Stillman, "Galileo", *Encarta,* Microsoft, 1994

Hogan, Craig J., Kirshner, Robert P. and Suntzeff, Nicholas B., „Surveying Space-time with Supernovae", *Scientific American,* Januar 1999, Band 280, Nummer 1

Koyré, Alexandre, *Do Mundo Fechado ao Universo Infinito,* São Paulo, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1979 (übersetzt aus *From The Closed World to the Infinite Universe)*

Krauss, Lawrence M., „Cosmological Antigravity", *Scientific American,* Januar 1999, Band 280, Nummer 1

Kuhn, Thomas S., *The Copernican Revolution,* Cambridge, Massachusetts, and London, Harvard University Press, 1985

Kuhn, Thomas S., *Structures of Scientific Revolution,* Chicago, The University of Chicago Press, 1962

Lexirom, 1997 Microsoft Corp.

Marcondes, Danilo, *Iniciação à História da Filosofia*, Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editor, 1997

Maury, Jean-Pierre, *Comment la terre devint ronde,* Evreux, Gallimard, 1989

Miram, Wolfgang und Scharf, Karl-Heinz, Der Kreationismus, *Biologie Heute,* Hannover, Schrödel, 1998, S. 438

Van Helden, Albert und Burr, Elizabeth *The Galileo Project, Homepage,* Rice University, 1996, http://es.rice.edu/ES/humsoc/Galileo/

Weinberg, Steven, "The Revolution That Didn't Happen", *The New York Review of Books,* October 8, 1988

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erklären wir, dass wir die Arbeit eigenständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt haben.

Bettina Melchers

Felipe Farah Schwartzman

Rio de Janeiro, 2. Juli 1999